

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİ YÖNETİMİ TEZLİ YÜKSEK
LİSANS PROGRAMI**

**SAVAŞ UÇAĞI GELİŞTİRME PROGRAMLARINI OLUMSUZ
ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ÖNEM DERECELERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

NİLAY ERCAN ERŞAHİN

ANKARA - 2019

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
MÜHENDİSLİK VE TEKNOLOJİ YÖNETİMİ TEZLİ YÜKSEK
LİSANS PROGRAMI**

**SAVAŞ UÇAĞI GELİŞTİRME PROGRAMLARINI OLUMSUZ
ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ÖNEM DERECELERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

NİLAY ERCAN ERŞAHİN

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ ESRA DİNLER

ANKARA - 2019

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Nilay ERCAN ERŞAHİN tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi: 30 / 12 / 2019

Tez Adı: Savaş Uçağı Geliştirme Programlarını Olumsuz Etkileyen Faktörlerin Önem Derecelerinin Belirlenmesi

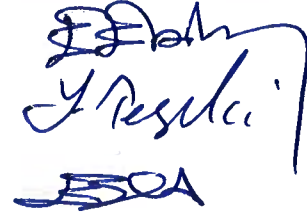
Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı - Soyadı, Kurumu)

Prof. Dr., Ergün ERASLAN, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Doç. Dr., Yusuf Tansel İÇ, Başkent Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi, Esra DİNLER, Başkent Üniversitesi

İmza



ONAY

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ... / ... /

BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

Tarih: 03/01/2020

Öğrencinin Adı, Soyadı : Nilay ERCAN ERŞAHİN

Öğrencinin Numarası : 21720484

Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği

Programı : Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Tezli Yüksek Lisans

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı : Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER

Tez Başlığı : Savaş Uçağı Geliştirme Programlarını Olumsuz Etkileyen Faktörlerin
Önem Derecelerinin Belirlenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 52 sayfalık kısmına ilişkin, 03. / 01. / 2020 tarihinde tez danışmanım tarafındanTurnitin.... adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %5....'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

“Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını” inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası: 

Onay

03/01/2020

Dr. Öğr. Üyesi Esra DİNLER



Aileme...

Nilay ERCAN ERŞAHİN

Ankara – 2019

TEŐEKKÖR

Tez çalışmamın her aşamasında değerli bilgilerini ve zamanını esirgemeyip yol gōsteren başta değerli danışman hocam Dr. Esra DİNLER'e, Doç. Dr. Kumru Didem ATALAY'a ve Anabilim Dalı Başkanım Doç. Dr. Yusuf Tansel İ'e teőekkōr ederim.

Tezimin uygulama kısmında karar verici olarak yer alan Sayın Gōkhan iyan ve çok değerli çalışma arkadaşlarıma teőekkōr ederim.

Hayatımın her dōneminde yanımda olan ve desteklerini her zaman hissettiren aileme,

Bu zorlu çalışma sōrecinde sabır ve özveri ile her an yanımda olan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Berkan ERŞAHİN'e,

Varlığınız ve desteğiniz için çok teőekkōr ederim.

ÖZET

Nilay ERCAN ERŞAHİN

SAVAŞ UÇAĞI GELİŞTİRME PROGRAMLARINI OLUMSUZ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ÖNEM DERECELERİNİN BELİRLENMESİ

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

2019

Ülkelerin operasyonel yeterliliğini büyük ölçüde belirleyen savaş uçakları geçmişten beri bilimsel ve teknolojik gelişmelerde önemli rol oynamıştır. Özellikle II. Dünya Savaşı'nda jet motorlu savaş uçaklarının kullanılması ile birlikte savaş uçağı teknolojisindeki gelişmeler büyük bir hız kazanmıştır ve devletler kendi çıkarlarını ve ülkelerini koruyabilmek için bu gelişmeleri yakından takip etmek ve daha ileriye taşımak zorunda kalmıştır.

Ancak her savaş uçağının geliştirilme sürecinde farklı problemler ile karşılaşmış ve çoğu problem, geliştirme sürecinin uzamasına ya da maliyetin radikal bir şekilde artmasına sebep olmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında; üçüncü, dördüncü ve beşinci nesil savaş uçağı geliştirme programları incelenerek, karşılaşılan zorluklar ve kazanılan tecrübeler doğrultusunda bu programları etkileyen faktörler tanımlanmış ve Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) yöntemi kullanılarak faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralaması yapılmıştır. AHP yöntemini uygularken faktörlerin ikili karşılaştırmalarını yapmaları için Türkiye'de yer alan, savunma sanayi ve havacılık alanlarında faaliyet gösteren bir firmada, Sistem Mühendisliği bölümünde çalışan uluslararası ve milli projelerde tecrübe edinmiş konu uzmanı kişiler arasından 11 adet karar verici seçilmiştir. Savaş uçağı geliştirme programlarını etkileyen faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması ile bu çalışmanın, yürütülmekte olan projelere yol gösterici bir nitelik taşıması ve proje süreçlerinin iyileştirilmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Savaş Uçağı Geliştirme Programları, Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi, Analitik Hiyerarşi Proses.

ABSTRACT

Nilay ERCAN ERŞAHİN

IDENTIFYING THE IMPORTANCE LEVEL OF THE FACTORS HAVING NEGATIVE EFFECTS ON COMBAT AIRCRAFT DEVELOPMENT PROGRAMS

Başkent University, Institute of Science and Engineering

Department of Industrial Engineering

2019

Combat aircrafts have a significant role in scientific and technological improvements as one of the primary identifiers of a country's operational effectiveness. The developments in combat aircraft technology have been accelerated since the jet-engined combat aircrafts were used during World War II. The governments have to follow these developments and enhance them to protect their countries and maintain their benefits. However, different problems have been faced during the development phase of combat aircrafts, and most of them have caused delays on the project schedule or significant increases in the cost of the projects.

In the scope of this study, a research was conducted about the third, fourth, and fifth-generation combat aircraft development programs, and the factors having negative effects on the programs were identified in the light of the problems faced and lessons learned factors. The importance level of these factors were identified by using the Analytic Hierarchy Process (AHP), one of the Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods. For the pairwise comparisons of the factors in application of AHP method, 11 Subject Matter Experts (SME) have been chosen as decision-makers among the people working as system engineers at a company operating in defence and aerospace industry in Turkey, who have gained experience in the international and national projects. The purpose of identification of the factors having impact on development of combat aircrafts based on their importance weights is to ensure that this study serves as a guide for the ongoing projects and contributes to the improvements of the project phases.

KEY WORDS: Combat Aircraft Development Programs, Multi-Criteria Decision Making (MCDM), Analytic Hierarchy Process (AHP).

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
TABLolar LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1 Önceki Çalışmalar	3
2.2 Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)	12
3. UYGULAMA	18
3.1 Problemin Tanımlanması.....	18
3.2 Amaç, Kriterler, Alt Kriterler (Varsa) Ve Alternatifler (Karar Noktaları) Belirlenerek Karar Hiyerarşi Yapısının Kurulması	18
3.2.1 Ülkenin havacılık geçmişinin olmaması.....	20
3.2.2 Ambargo ve ihraç lisansları sıkıntıları	21
3.2.3 Devlet tarafından kaynaklanan yönetim sorunları	22
3.2.4 Endüstri tarafından kaynaklanan yönetim sorunları	23
3.2.5 Yeterli rezerv kaynak ayrılmaması.....	24
3.2.6 Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir olmaması.....	25
3.2.7 Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları.....	26
3.2.8 Demo uçak üretimi yapılmaması	28
3.2.9 Uçuş kontrol sistemleri ve yazılım sorunları	31
3.2.10 Hızlı ilerlemenin yol açtığı sıkıntılar	32

3.3 Kriterlerin İkili Karşılaştırmalarının Yapılması	33
3.4 İkili Karşılaştırma Sonuçlarından Yararlanarak Kriterlerin Genel Öncelik Değerinin Belirlenmesi	37
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	46
4.1 Sonuçlar	46
4.2 Öneriler.....	48
KAYNAKLAR	52
EKLER	
EK 1: KARAR VERİCİLERİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSLERİ	

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Önceki çalışmalar.....	3
Tablo 2.2 Tam sayılar ile önem çizelgesi [26]	14
Tablo 2.3 Rassallık Endeksi (RI) Göstergeleri [28]	16
Tablo 3.1 İncelenen Savaş Uçağı Geliştirme Programları	20
Tablo 3.2 Karar vericilere dağıtılan ikili karşılaştırma tablosu (Türkçe).....	34
Tablo 3.3 Karar vericilere dağıtılan ikili karşılaştırma tablosu (İngilizce)	35
Tablo 3.4 Denemeler (KV1, KV2, KV3, KV4).....	40
Tablo 3.5 Denemeler (KV5, KV6, KV7, KV8).....	40
Tablo 3.6 Denemeler (KV9, KV10, KV11)	41
Tablo 3.7 Denemeler sonucu elde edilen önem ağırlıkları (KV1, KV2, KV3, KV5, KV6) ..	42
Tablo 3.8 Denemeler sonucu elde edilen önem ağırlıkları (KV7, KV8, KV9, KV10, KV11)	42
Tablo 3.9 Faktörlerin önem ağırlıkları (Gerçek ve Deneme)	42

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	AHP Hiyerarşi Yapısı (Saaty and Niemira, 2006) [24].....	13
Şekil 3.1	Uygulamanın hiyerarşi yapısı	19
Şekil 3.2	Expert Choice paket programında çok sayıda karar verici kullanma seçeneği ..	36
Şekil 3.3	Expert Choice paket programı ile karar verici sayısını belirleme	36
Şekil 3.4	Karar vericilerin oluşturduğu ikili karşılaştırma matrislerinin değerlerinin geometrik ortalamasının alınması	37
Şekil 3.5	Faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması	38
Şekil 3.6	Uluslararası proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmesi ile faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması.....	38
Şekil 3.7	Milli proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmesi ile faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması	39
Şekil 3.8	Gerçek değerler için normallik testi	43
Şekil 3.9	Deneme değerler için normallik testi	44
Şekil 3.10	F testi sonuçları	44
Şekil 3.11	T testi sonuçları	45

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

λ_{maks}	En büyük öz vektör
μ	Ortalama
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AHP	Analitik Hiyerarşi Proses
ANOVA	Analysis of Variance
ANP	Analytic Network Process
COPRAS	Complex Proportional Assessment
CR	Tutarlılık Oranı
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
ELECTRE	Elimination and Choice Translating Reality English
ESM	Ewen Swaps Method
FST	Fuzzy Set Theory
H	Hipotez
İHA	İnsansız Hava Aracı
JSF	Joint Strike Fighter
kg	kilogram
MCDM	Multi-Criteria Decision Making
MOORA	Multi-Objective Optimization on the Basis of Ratio Analysis
RI	Rastsallık Endeksi
SAW	Simple Additive Weighting
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
STOVL	Short Take-Off and Vertical Landing
SWAT	STOVL Weight Attack Team
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
TSK	Türk Silahlı Kuvvetleri
α	Anlamlılık derecesi
σ^2	Varyans

1. GİRİŞ

Ülkelerin operasyonel yeterliliğini belirleyen en önemli unsurlardan olan savaş uçakları, geçmişten günümüze ülkelerin bilimsel ve teknolojik gelişimlerinde önemli rol oynamıştır. İlk olarak II. Dünya Savaşı'nda kullanılan jet motorlu savaş uçakları, ilerleyen teknoloji ve ihtiyaçlar doğrultusunda tasarım ve fonksiyon anlamında sürekli iyileştirilmiş ve her büyük iyileştirme savaş uçaklarını kabiliyetleri açısından nesillere ayırmıştır. 1940'lı yıllarda kullanılan birinci nesil savaş uçakları jet motorlarına ve ses altı hızlarda seyir edebilme kabiliyetine sahipken 1950'li yıllarda kullanılan ikinci nesil savaş uçakları daha yüksek hızlarda seyir edebilmekte, güdümlü füze ve radar kullanımına imkân vermektedir. Ses üstü hızlarda seyir imkânı ve daha gelişmiş motorlar ve silah sistemleri ise ilk olarak 1960'lı yıllarda kullanılan üçüncü nesil savaş uçaklarında görülebilmektedir. Dördüncü nesil savaş uçakları 1970'li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır ve dijital aviyoniklere, arttırılmış manevra kabiliyetine ve gelişmiş uçuş kontrol ve silah sistemlerine sahiplerdir. Ara nesil olarak adlandırılan nesil dört buçuk savaş uçakları ise tasarım açısından çok farklılık göstermemelerine rağmen gelişmiş dijital aviyoniklere ve sınırlı da olsa radarlardan gizlenme kabiliyetine sahiplerdir. Günümüzde kullanılan ve geliştirilmeye devam edilen beşinci nesil savaş uçakları ise gelişmiş entegre aviyonik sistemlere, ses üstü hızlarda arduyanmasız (afterburner) seyir kabiliyetine, radarlara karşı düşük görünürlüğe ve gelişmiş radar sistemlerine sahiplerdir. Devletler ise oluşan rekabet ortamında kendi çıkarlarını ve ülkelerini koruyabilmek için bu gelişmeleri yakından takip etmek ve daha ileriye taşımak zorunda kalmıştır. Ancak her savaş uçağının geliştirilme sürecinde farklı problemler ile karşılaşmış ve çoğu problem geliştirme sürecinin uzamasına ya da maliyetin radikal bir şekilde artmasına sebep olmuştur.

Bu tez çalışması kapsamında, karşılaşılan problemleri tanımlamak ve etkilerini analiz etmek için tamamlanan ya da devam etmekte olan savaş uçağı geliştirme programları incelenerek, karşılaşılan zorluklar ve geliştirme programlarına etkisi olan faktörler tanımlanmış ve geliştirme programlarından örnekler verilerek açıklanmıştır. Faktörlerin etkilerine göre sıralamasının gerçekleştirilebilmesi için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) uygulanmıştır. AHP yönteminin uygulama adımlarından biri olan ikili karşılaştırma matrislerini oluşturmak için Türkiye'de yer alan, savunma sanayi ve havacılık alanlarında faaliyet gösteren bir firmada, Sistem Mühendisliği bölümünde çalışan uluslararası ve milli projelerde tecrübe edinmiş konu uzmanı kişiler arasından 11 adet karar verici seçilmiştir. Karar vericilerin

değerlendirmelerini sonuca ulaştırmak için Expert Choice paket programından faydalanılmıştır.

Literatürde ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP ile gerçekleştirilen farklı konularda çok sayıda çalışma yer almaktadır. Ancak havacılık konusunda gerçekleştirilen çalışmaların kısıtlı olduğu ve genellikle ürün alternatifleri arasından seçim yapmak amacı ile ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığı görülmüştür. Literatürde savaş uçağı geliştirme programlarını etkileyen faktörleri inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma sonucunda önem ağırlıklarına göre sıralanan faktörlerin yeni başlayacak ya da yürütülmekte olan projelere yol gösterici bir nitelik taşıması ve proje süreçlerinin iyileştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasına literatür araştırması yapılarak başlanmış, konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş ve AHP yönteminin uygulama adımları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Uygulamanın anlatıldığı çalışmanın üçüncü bölümde ise AHP adımları bir önceki bölümde anlatıldığı gibi izlenmiştir. İlk olarak problem, savaş uçağı geliştirme programlarını etkileyen faktörlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi olarak tanımlanmış ve daha sonra hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Her bir faktör tek tek açıklanmış ve bu açıklamaları desteklemek için savaş uçağı geliştirme programlarından örnekler verilmiştir. Faktörlerin ikili karşılaştırmalarının yapılabilmesi için 11 adet karar vericinin görüşleri alınmış ve Expert Choice paket programı kullanılarak faktörlerin önem ağırlıkları belirlenmiştir.

Sonuçlar ve Öneriler bölümünde, bütün karar vericilerin değerlendirmeleri, uluslararası projelerde tecrübe edinmiş karar vericilerin değerlendirmeleri ve milli projelerde tecrübe edinmiş karar vericilerin değerlendirmeleri olarak üç farklı şekilde incelenmiş, belirlenen faktörlerin olumsuz etkilerini azaltmak için alınması gereken önlemler açıklanmış, proje süreçlerini iyileştirmek ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Önceki Çalışmalar

Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri hem seçimi etkileyen kriterlerin önem ve ağırlık değerlerine göre sıralanması hem de alternatifler arasından optimum seçimi yapmaya yardımcı olan karar destek modellerinin oluşturulması için kullanılmaktadır. ÇKKV yöntemleri araştırıldığında literatürde çok yaygın bir uygulama alanına sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak havacılık alanında ÇKKV yöntemleri çoğunlukla belirlenen kriterlere en uygun hava aracının seçilmesi (filo planlaması, en iyi performansa sahip hava aracının seçilmesi, vb.) için uygulanmıştır. Bu bölümde, havacılık alanında uygulanan ÇKKV yöntemleri Tablo 2.1’de görülebildiği gibi listelenmiş ve bu çalışmalar ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Tablo 2.1 Önceki çalışmalar

Tarih	Yazar(lar)	Başlık	Amaç	Yöntem(ler)
2000	Doğan Şafak Polat	Askeri helikopter alımı problemine analitik hiyerarşi metodu ile bir yaklaşım	5 adet helikopterden en iyi olanının seçimi	AHP
2001	Cemal Turğut	Taarruz helikopterleri ile tankların muharebe etkinliklerinin AHP ile karşılaştırılması	AH 1W taarruz helikopteri ile M60 A3 tankının muharebe etkinliklerinin karşılaştırılması	AHP
2002	Serdal Çelikyay	Çok amaçlı savaş uçağı seçiminde çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin uygulanması	Çok amaçlı savaş uçağı seçimi	AHP TOPSIS

Tarih	Yazar(lar)	Başlık	Amaç	Yöntem(ler)
2007	Ahmet Haluk Öz	Yük helikopteri seçiminde bulanık çok amaçlı karar verme modeli	3 adet yük helikopterinden optimum olanının seçimi	AHP Bulanık AHP
2007	Tien-Chin Wang Tsung-Han Chang	Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment	Tayvan hava kuvvetleri akademisi için 7 eğitim uçağından optimum olanının seçimi	TOPSIS
2008	İhsan Özge	İç Güvenlikte Kullanılacak İnsansız Hava Aracı Seçiminde Analitik Hiyerarşi Metodunun Kullanılması	İç güvenlikle kullanılacak İHA'nın belirlenmesi için 5 adet İHA modelinin karşılaştırılması	AHP
2008	Hüseyin Yürekli	Taarruz helikopterleri seçiminde ELECTRE yönteminin kullanılması	6 adet taarruz helikopterinden optimum olanının seçimi	ELELCTRE
2010	Olja Čokorilo Slobodan Gvozdenović Petar Miroslavljević Ljubiša Vasov	Multi attribute decision making: Assessing the technological and operational parameters of an aircraft	Uçakların teknolojik ve operasyonel parametrelerini belirlemek için 4 uçağın karşılaştırılması	TOPSIS
2011	Xiaoqian Sun Volker Gollnick Eike Stumpf	Robustness Consideration in Multi-Criteria Decision Making to an Aircraft Selection Problem	Varsayımsal bir havayolu için 3 uçak tipi arasında optimum olanının belirlenmesi	Taguchi Loss Function SAW ELECTRE TOPSIS

Tarih	Yazar(lar)	Başlık	Amaç	Yöntem(ler)
2014	Gökhan Tüysüz	Çok kriterli karar verme teknikleri ile savaş uçağı seçimi	5 adet savaş uçağı arasından optimum olanının belirlenmesi	AHP ELECTRE TOPSIS
2014	Slavica Dožić Milica Kalić	An AHP approach to aircraft selection process	Teorik ve varsayımsal verilerle uçak seçiminde kullanılabilecek bir model oluşturulması için 7 alternatif uçağın karşılaştırılması	AHP
2015	J.M. Sanchez-Lozano J. Serna A. Dolon-Payan	Evaluating military training aircrafts through the combination of multi-criteria decision making processes with fuzzy logic. A case study in the Spanish Air Force Academy	5 adet eğitim uçağı arasından optimum olanının belirlenmesi	AHP TOPSIS
2015	Lay Eng Teoh Hooi Ling Khoo	Airline Strategic Fleet Planning Framework	2 farklı havayolu şirketi için 3 farklı uçak tipi arasından optimum olanının belirlenmesi	AHP
2015	Slavica Dožić Milica Kalić	Comparison of two MCDM methodologies in aircraft type selection problem	7 adet uçağın 2 farklı yöntem ile karşılaştırılması ve yöntemlerin değerlendirilmesi	AHP ESM

Tarih	Yazar(lar)	Başlık	Amaç	Yöntem(ler)
2015	Giuseppe Bruno Emilio Esposito Andrea Genovese	A model for aircraft evaluation to support strategic decisions	3 farklı uçağın iki farklı yöntemin güçlü yanlarını sentezleyerek karşılaştırılması ve hem İtalya havayolları için hem de üretici firmalar için uçak karşılaştırma modeli oluşturulması	AHP FST
2016	Soner Yılmaz	Uçak seçim kriterlerinin değerlendirilmesinde AHP ve Bulanık AHP uygulaması	Havayolu şirketlerinin filolarına eklenecek en uygun ticari uçak modelinin belirlenmesi için 5 adet ticari uçağın karşılaştırılması	AHP Bulanık AHP
2016	Adem Göleç Feyza Gürbüz Ercan Şenyiğit	Determination of best military cargo aircraft with multi-criteria decision-making techniques	3 adet kargo uçağının karşılaştırılması ve optimum olanının belirlenmesi	AHP SAW TOPSIS ELECTRE
2016	Serdar Ulucan	Gri tabanlı insansız hava aracı seçimi	4 adet İHA'nın arasından optimum olanının belirlenmesi	Gri İlişkisel Analiz
2017	Murat Ayar	Temel eğitim uçakları için performans ve işletme karakteristiklerinin etüdü	5 adet eğitim uçağının karşılaştırılması	ANP

Tarih	Yazar(lar)	Başlık	Amaç	Yöntem(ler)
2018	Kasım Kiracı Mahmut Bakır	Application of commercial aircraft selection in aviation industry through multi-criteria decision making methods	4 adet ticari uçağın karşılaştırılması ve optimum olanının belirlenmesi	AHP COPRAS MOORA
2018	Mehmet Aksoyek	Havayolu taşımacılığında uzun menzilli düşük maliyetli taşıyıcılarda uçak ve hat seçimi	İstanbul'dan oluşturulacak 26 adet uzun mesafe uçuş noktası arasından en uygun 2 tanesinin belirlenmesi ve bu iki nokta için 3 aday uçak arasından en uygun uçak tipinin belirlenmesi	ESM

Polat [1] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, AHP yöntemi kullanılarak Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) envanterine alınacak askeri helikopterin belirlenmesi için 5 adet savaş helikopteri incelenmiş ve ihtiyaçlar doğrultusunda en iyi olanının belirlenmesi sağlanmıştır.

Turğut [2] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Türkiye koşullarında iki farklı bölge senaryosu belirlenmiş ve AH 1W modeli taarruz helikopteri ile M60 A3 modeli muharebe tankının TSK'ne kazandırdıkları muhabere gücünün karşılaştırılması amaçlanmıştır. AHP yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada, hem İç Anadolu Bölgesi hem de Doğu Anadolu Bölgesi koşullarında AH 1W modeli taarruz helikopterinin M60 A3 modeli muharebe tankından daha üstün olduğu belirlenmiştir.

Çelikyay [3] tarafından gerçekleştirilen ve çok amaçlı (multi-role) savaş uçağı seçimi için yapılan çalışmada bir grup uzman tarafından objektif ve sübjektif tüm kriterler belirlenmiştir. Bu kriterler, AHP yöntemi ile önceliklendirilmiş ve alternatifler bu kriterlere göre sıralanmıştır. Aynı kriterler TOPSIS yöntemi kullanılarak da en iyi alternatifin belirlenmesinde kullanılmıştır. Çalışma sonucunda iki yöntem ile de belirlenen en iyi alternatifin aynı olduğu görülmesi ÇKKV yöntemlerinin çok amaçlı savaş uçağı seçiminde sağlam bir karar zemini oluşturduğu göstermiştir.

Öz [4] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, TSK envanterine alınacak olan en uygun yük helikopterinin belirlenmesi için hem klasik AHP yöntemi hem de bulanık AHP yönteminden faydalanılmıştır. Klasik AHP yöntemi için Expert Choice paket programı kullanılırken bulanık AHP yöntemi için ise Visual Basic dilinde yazılan program kullanılmış ve değerlendirme sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda her iki yöntem ile elde edilen sıralama aynı bulunmuş ancak alternatiflerin ağırlıkları arasında farklılıklar bulunduğu gözlenmiştir.

Wang and Chang [5] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, TOPSIS yöntemi kullanılmış ve Tayvan Hava Kuvvetleri Akademisi için 7 adet eğitim uçağı 16 kritere göre 15 adet karar verici tarafından değerlendirilmiştir.

Özge [6] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, iç güvenlikte etkin bir şekilde kullanılacak olan en uygun İnsansız Hava Aracı (İHA)'nın belirlenmesi hedeflenmiştir. ÇKKV yöntemlerinden AHP yönteminin uygulandığı çalışmada, 5 adet İHA arasından en uygun olanının seçilebilmesi için kriterler uzman görüşleri alınarak belirlenmiş ve Expert Choice paket programından faydalanılmıştır. Çalışma sonucunda CAMCOPTER S100 isimli İHA diğer alternatiflerden daha üstün olarak belirlenmiştir.

Yürekli [7] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ATAK projesi kapsamında TSK'nin ihtiyaçlarını karşılayacak en uygun taarruz helikopterini seçmek amaçlanmıştır. Çalışmada kriterlerin belirlenmesi ve değerlendirilmesinde uzman personel ile birlikte çalışılmış ve 6 adet taarruz helikopteri ELECTRE yöntemi kullanılarak 8 ayrı kritere göre karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda A-129 helikopteri en uygun taarruz helikopteri olarak belirlenmiştir.

Cokorilo et al. [8] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, teknolojik ve operasyonel parametreleri değerlendirerek 4 farklı uçağın değerlendirilmesi amaçlanmıştır. TOPSIS yöntemi uygulanarak yapılan çalışmada alternatif uçaklar teknolojik, operasyonel ve tırmanma kabiliyetleri olmak üzere 3 ana kriter altında değerlendirilmiştir.

Sun et al. [9] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kriterler arasındaki belirsizlikleri Taguchi kayıp fonksiyonunu (Taguchi Loss Function) kullanarak gidermek ve varsayımsal bir havayolu firması için 3 uçak tipi arasından optimum olanının seçilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, ELECTRE, TOPSIS ve SAW olarak üç farklı ÇKKV yönteminin kullanılması ile ekonomik, ekolojik ve teknolojik kısıtları dengeleyerek hava taşımacılığı için en uygun alternatifin belirlenmesine olanak vermiştir.

Tüysüz [10] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, uluslararası alanda en etkili beş savaş uçağı (F-35 Joint Strike Fighter – JSF, F-22 Raptor, Mig-35, Sukhoi PAKFA,

Eurofighter Typhoon) ÇKKV yöntemleri ile incelenmiş ve belli kriterler çerçevesinde karşılaştırılmıştır. Belirlenen kriterlere göre en uygun olan savaş uçağının seçimi AHP, ELECTRE ve TOPSIS yöntemleri uygulanarak gerçekleştirilmiştir ve yöntemler arası farklılıklar incelenmiştir.

Dožić and Kalić [11] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, hem yolcuların hem de havayolu firmalarının taleplerine uygun olan, teorik ve varsayımsal verilerle uçak seçiminde kullanılabilecek bir model oluşturulması hedeflenmiştir. Bu amaçla, öncelikle yolcuların talepleri göz önünde bulundurularak rota ağı ve uçak büyüklüğü belirlenmiş ve bu belirlenenler göz önünde bulundurularak 7 adet alternatif uçak 6 kriter altında AHP yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir.

Sanchez-Lozano et al. [12] tarafından İspanya Hava Kuvvetleri Akademisi kapsamında yapılan çalışmada İspanya ihtiyaçlarına en uygun askeri eğitim uçağının seçilmesine yol gösterilmesi amaçlanmıştır. Alternatifler ölçülebilir ve teknik kriterler olduğu gibi deneyime dayalı ve ölçülemez kriterlere göre değerlendirilmiştir. Pilotlar ve uçuş eğitmenleri ile yapılan görüşmeler sonucu belirlenen kriterler AHP yöntemi kullanılarak önceliklendirilmiştir. TOPSIS yöntemi ise önceliklendirilen kriterlere göre alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Teoh and Khoo [13] tarafından gerçekleştirilen ve havayolu şirketleri için en uygun uçağın belirlenmesini amaçlayan çalışmada Malaysia Airlines ve AirAsia havayolu şirketleri incelenmiş ve bu şirketler için 3 farklı uçak tipi alternatifi değerlendirilmiştir. Operasyonel etkinlik, ekonomik kriterler ve çevresel kriterler ana başlıklarında 5 adet kriter belirlenmiş ve AHP yöntemi kullanılarak bu kriterler önceliklendirilmiş ardından alternatifler değerlendirilmiştir.

Dožić and Kalić [14] tarafından gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise iki farklı ÇKKV yönteminin uçak seçim problemleri kapsamında karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında 7 adet uçak 6 kritere göre hem AHP hem de ESM yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda iki yöntem ile de aynı alternatif uçak en uygun olarak belirlenmiş ve duyarlılık analizlerinin sonuçları paylaşılmıştır.

Bruno et al. [15] tarafından yapılan çalışmada, hem İtalya Hava Yolları hem de uçak üretici firmalar tarafından kullanılabilecek bir uçak karşılaştırma modeli oluşturmak hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında 3 farklı uçak AHP ve FST yöntemlerinin güçlü yönleri sentezlenerek 4 ana ve 8 alt kriter doğrultusunda karşılaştırılmıştır. Oluşturulan bu model, hem havayolu firmaları tarafından filolarına alınacak uçakları seçmek için hem de üretici

firmalar tarafından ürünlerinin eksik yönlerini görebilmeleri ve ürünlerini nasıl iyileştireceklerini saptayabilmeleri için kullanılabilmektedir.

Yılmaz [16] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, havayolu şirketlerinin mevcut filolarına yeni uçak ekleme talebinin olması durumunda uçak seçimini kolaylaştırmak adına dar gövdeli tek koridorlu orta menzilli ticari uçak modelleri incelenerek, çeşitli kriterler belirlenmiş ve önem ağırlıklarına göre alternatifler arasında karşılaştırma ve değerlendirme yapılmıştır. Çalışma kapsamında belirsiz ve kesin olmayan verilerin de göz önünde bulundurulması sebebiyle AHP yöntemi ile birlikte Bulanık AHP yöntemi de uygulanmış ve oluşturulan model Matlab 6.5 programı kullanılarak çözdürülmüştür.

Göleç et al. [17] tarafından ve envanterlerine askeri kargo uçağı katmak isteyen ülkelerin seçimlerine yardımcı olması amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, askeri kargo uçaklarının seçiminde kullanılacak kriterler; operasyonel yeterlilik, maliyet, idame edilebilirlik, bakım kolaylığı ve ülkelerin alım projelerindeki payı olarak belirlenmiştir. AHP, TOPSIS, ELECTRE ve SAW yöntemleri kullanılarak kriterler önceliklendirilmiş ve en uygun alternatifin bulunması için yol gösterilmiştir.

Ulucan [18] tarafından yapılan çalışmada, gri ilişki analizi yöntemi kullanılarak 4 adet İHA 10 adet kritere göre uzman kişiler tarafından değerlendirilmiş ve İHA-4 diğer İHA alternatiflerine göre daha üstün olarak belirlenmiştir.

Ayar [19] tarafından yapılan çalışmada, 5 adet eğitim uçağı ANP yöntemi kullanılarak performans ve işletme karakteristiklerine göre 6 ana kriter ve 22 alt kriter doğrultusunda değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda Cirrus SR20 uçağı diğer alternatiflere göre daha üstün olarak belirlenmiştir.

Kiracı and Bakır [20] çalışmalarında, Yılmaz [16] tarafından gerçekleştirilen çalışmada karşılaştırılan ticari uçakları maliyet, performans ve çevre faktörlerini dikkate alarak incelemişler, belirlenen kriterleri önem ağırlıklarına göre sıralamışlardır. Bu çalışmada AHP, COPRAS ve MOORA yöntemleri kullanılmış ve üç yöntemin de sonucunun birbiri ile tutarlı sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Aksoyek [21] çalışmasında, başlangıç noktası İstanbul olan 26 adet uzun mesafe uçuş noktası arasından en uygun 2 tanesinin belirlenmesini ve belirlenen uzun mesafe uçuşlar için 3 aday uçak arasından en uygun uçak tipinin belirlenmesini amaçlamıştır. ESM yönteminin kullanıldığı çalışmada İstanbul kalkışlı uzun mesafe uçuşlar için varış noktaları Newark (ABD) ve Punta Cana (Dominik Cumhuriyeti) olarak belirlenmiş, en uygun uçak tipi ise B777-300E uçağı olarak bulunmuştur.

Literatürde havacılık ya da savunma sanayii alanında proje yönetim süreçlerini iyileştirmeyi amaçlayan çalışmalarda ÇKKV yöntemlerinin kullanıldığına rastlanmamıştır. Ancak Gökpınar [22] çalışmasında, literatür araştırması ile ülkemizde ve batılı ülkelerde kullanılan tedarik sistemlerini ve proje yönetimi süreçlerini karşılaştırmış ve araştırma ve geliştirmeye dayalı bir tedarik sistemi olması için gereken süreçler ile kavramları tanımlamış ve bu doğrultuda ülkemiz için bir tedarik süreç modeli önermiştir. Gürkan [23] ise çalışmasında Türk Hava Kuvvetleri'nin yazılım sistemleri tedarigi için bir süreç modeli önermiştir. Çalışma kapsamında tedarik süreci için başarı ve başarısızlık faktörleri literatür araştırması ile belirlenmiş ve Hava Kuvvetleri Komutanlığı'nda görevli proje yöneticilerinin katılımı ile anket yapılmıştır. Anket sonuçları, Hava Kuvvetleri içindeki tedarik süreç ihtiyaçları ve başarısı kanıtlanmış modellerin gözden geçirilmesi ile yeni bir tedarik modeli önerilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde AHP yöntemi ile ilgili farklı alanlarda pek çok çalışmaya rastlanmasına rağmen havacılık alanında kısıtlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Havacılık alanında ÇKKV yöntemleri kullanılarak yapılan çalışmalarda çoğunlukla belirli kriterlere göre en uygun hava aracının seçimi üzerinde durulduğu yani son ürünün incelendiği görülmüştür. Bu çalışmalar yaygın olarak havayolu şirketlerinin filolarına, ihtiyaçlarına göre en uygun olan hava aracının seçimini, en iyi performansa sahip eğitim uçağının seçimini, en iyi performansa sahip savaş uçağının seçimini hedeflemişlerdir. Ancak savaş uçağı geliştirme programlarının incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışma ile literatürde yer alan bu boşluğu doldurmak için, 22 tane savaş uçağı geliştirme programı incelenerek, savaş uçağı geliştirme programlarında proje takvimine olumsuz etkisi olan faktörlerin belirlenmesi ve konu uzmanı kişilerin görüşleri alınarak AHP yönteminin kullanılması ile bu faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda önem ağırlıklarına göre sıralanan faktörlerin yeni başlayacak ya da yürütülmekte olan projelere yol gösterici bir nitelik taşıması ve proje süreçlerinin iyileştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

2.2 Analitik Hiyerarşı Prosesi (AHP)

Analitik Hiyerarşı Prosesi (AHP), 1970’li yılların ortalarında Pensilvanya Üniversitesi’nde ders vermekte olan Thomas L. Saaty tarafından geliştirilen ölçme ve karar vermeye yönelik matematiksel bir teoridir. AHP, sayısal olan ya da olmayan kriterlere bağlı olan problemlerin çözümünde kullanılan bir Çok Kriterli Karar Verme yöntemidir [24].

AHP, karar vericiler tarafından anlaşılması ve kullanılması kolay bir tekniktir. Karmaşık problemlerin; ana hedefini, kriterlerini, alt kriterlerini ve alternatiflerini ilişkilendirerek hiyerarşik bir yapıda modellenmesini sağlamaktadır. Amaç, kriterleri ve alternatifleri bir hiyerarşi içinde değerlendirerek; önce kriterleri önem ağırlıklarına göre sıralayıp sonra bu kriterlere göre alternatifleri en önemli olandan en önemsiz olana doğru sıralamaktır. Böylece kriterlere en uygun alternatifler belirlenebilmektedir [25].

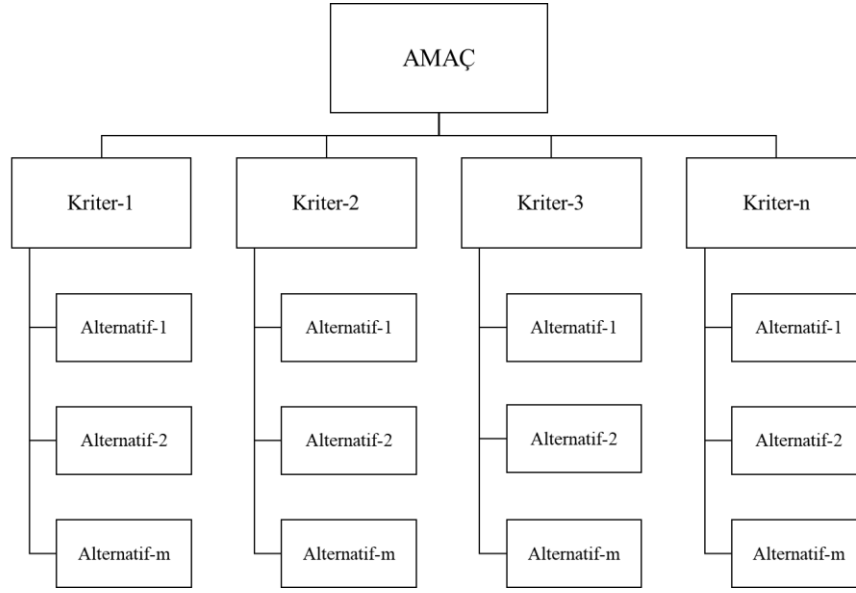
Öncelikleri belirlenmiş bir hiyerarşide karar vermek için AHP uygulanırken aşağıdaki adımlar izlenmelidir [26]:

1. Problemin tanımlanması [26];

Bu adımda problemin çerçevesi tanımlanmaktadır. Çerçeveyi tanımlamak için ise çözüme katkıda bulunacak bilgiler derlenmekte ve problemle ilgili katılımcılar (kriterler, alternatifler ve karar vericiler) belirlenmektedir.

2. Amaç, kriterler, alt kriterler (varsa) ve alternatifler (karar noktaları) belirlenerek karar hiyerarşı yapısının kurulması [26];

Bu adımda problemin hiyerarşik yapısı oluşturulur. Aşağıdaki Şekil 2.1’de Saaty’nin kurduğu ana hiyerarşi yapısı gösterilmektedir. Hiyerarşinin en üst basamağında problemin amacı yer alırken, bir alt basamağında n sayıda ana kriter yerleştirilmiştir. Ana kriterlerin her birinin altına da m sayıda alternatifler yani karar noktaları yerleştirilmiştir. Eğer bir problemde karar vermeyi etkileyen alt kriterler var ise, ana kriterlerin alt basamağına yerleştirilmeli ve hiyerarşi yapısı o şekilde oluşturulmalıdır.



Şekil 2.1 AHP Hiyerarşi Yapısı (Saaty and Niemira, 2006) [24]

3. Kriterlerin ikili karşılaştırmalarının yapılması [26];

Bu adımda karar vericilerin, kriterleri ikili olarak önem ağırlıklarına ya da tercih derecelerine göre karşılaştırması gerekmektedir. Bu ikili karşılaştırmaların yapılabilmesi için bir önem ölçeğine ihtiyaç vardır. Saaty tarafından hazırlanan önem çizelgesi (Saaty, [26]) Tablo 2.2’de verilmiştir. Bu tablodaki tek sayılı değerler kullanılarak kriterlerin ikili karşılaştırmada birbirlerine olan üstünlükleri belirlenmektedir, eğer üstünlükler tek sayılı değerler ile belirlenebilecek kadar net değil ise ara değerler de ikili karşılaştırmalar için kullanılabilir.

Tablo 2.2 Tam sayılar ile önem çizelgesi [26]

Sayısal Değer (n)	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki kriter de eşit önem derecesine sahip
2		Ara değer
3	Biraz daha önemli	Bir kriter öbürüne göre biraz daha önemli
4		Ara değer
5	Oldukça önemli	Bir kriter öbürüne göre fazla önemli
6		Ara değer
7	Çok önemli	Bir kriter öbürüne göre çok fazla önemli
8		Ara değer
9	Son derece önemli	Bir kriter öbürüne göre aşırı fazla önemli
1/n	Kriterler arasında tersi yönde bir ilişki olması durumunda kullanılacak değer	

Kriterlerin ikili karşılaştırılmaları sonucu ortaya $n \times n$ boyutlu kare bir matris çıkmaktadır. Karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerindeki bileşenler, her bir kriterin kendisi ile karşılaştırılmasını temsil ettiğinden ($i = j$ olduğunda), 1 değerini alır. Karşılaştırma matrisinin yapısı aşağıdaki eşitlik (2.1)'de gösterilmektedir:

$i=1,2,3,\dots,n$ ve $j=1,2,3,\dots,n$ olmak üzere;

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Bu karşılaştırma matrisi oluşturulurken Tablo 2.2'deki önem çizelgesinden yararlanılır ve karşılaştırmalar A matrisinin köşegeni üzerinde kalan bileşenler için yapılır. Köşegenin altında kalan bileşenler için ise, ikili karşılaştırmadaki kriterler yer değiştireceğinden, eşitlik (2.2) kullanılabilir.

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (2.2)$$

Bu adımın sonucunda ikili karşılaştırma matrisi elde edilmektedir.

4. İkili karşılaştırma sonuçlarından yararlanarak kriterlerin ve son olarak da alternatiflerin genel öncelik değerinin belirlenmesi [26];

Bu adımda, ikili karşılaştırma matrisini kullanarak kriterlerin bütün içindeki ağırlıklarını yani genel öncelik değerlerini belirlemek için A matrisinin öz vektörü hesaplanmaktadır. A matrisinin öz vektörünü hesaplamak için yine A matrisinin sütun vektörlerinden yararlanılarak kriter sayısı kadar yani n adet n bileşenli B sütun vektörü (2.4) eşitliğine göre oluşturulmaktadır [27].

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \\ \vdots \\ b_{n1} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2.4)$$

Yukarıdaki (2.4) eşitliği her bir kriter için tekrarlandığında oluşan n adet B sütun vektörü matris formatında bir araya getirilerek (2.5) eşitliğindeki C matrisi elde edilmektedir [27].

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Son olarak C matrisinden ve (2.6) eşitliğinden faydalanarak, kriterlerin birbirlerine göre öncelik değerleri elde edilmekte ve W matrisi olarak (2.7) eşitliğinde gösterilmektedir [27].

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (2.6)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} \\ w_{21} \\ \vdots \\ w_{n1} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (2.8)$$

Kriterlerin birbirine göre öncelik değeri yani W matrisi (2.8) eşitliğini sağlayacak şekilde elde edildikten sonra, belirlenen öncelik ağırlıklarının geçerli olabilmesi için karar vericilerin kriterler arasında yaptığı ikili karşılaştırmaların tutarlılığı ölçülmelidir. AHP yönteminde Tutarlılık Oranı (CR)'nın hesaplanabilmesi için A matrisinin en büyük öz vektörüne (λ_{maks}) ve Rassallık Endeksi (RI) değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır [27].

A matrisinin en büyük öz vektörünü (λ_{maks}) hesaplamak için öncelikle (2.9) eşitliğindeki gibi A matrisi ve W matrisi çarpılarak D matrisi elde edilmektedir. Ardından (2.10) eşitliği kullanılarak λ_{maks} değerine ulaşılmaktadır [27].

$$D = [a_{ij}]_{n \times n} \times [w_i]_{n \times 1} = [d_i]_{n \times 1} \quad (2.9)$$

$$\lambda_{maks} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i}}{n} \quad (2.10)$$

Rassallık Endeksi (RI) ise n değerine göre belirlenen sabit sayılardan oluşmaktadır ve Tablo 2.3'te görüldüğü gibi en çok 15 boyutlu matrisler için hesaplanabilmektedir [28].

Tablo 2.3 Rassallık Endeksi (RI) Göstergeleri [28]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Son olarak, A matrisinin öz vektörü (λ_{maks}) ve uygun RI değeri ile (2.11) eşitliği kullanılarak Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanabilmektedir [27].

$$CR = \frac{\lambda_{maks} - n}{(n - 1) * RI} \quad (2.11)$$

Karar vericilerinin karşılaştırmalarının tutarlı olması için CR değerinin 0.10'dan küçük olması gerekmektedir. CR değerinin 0.10'dan büyük olduğu durumlarda karar vericilerin karşılaştırmalarında bir tutarsızlık olduğu ve karşılaştırmalarını tekrar gözden geçirmeleri gerektiği ya da AHP yöntemi uygulanırken bir hesaplama hatası yapıldığı söylenebilmektedir [27].

Alternatiflerin genel öncelik değerlerinin belirlenebilmesi için yukarıdaki adımlar hiyerarşik yapının tamamı için n kez uygulanmaktadır ancak bu sefer, her bir kriter için alternatiflerin önem ağırlıkları belirlenmektedir. Eşitlik (2.12)'de gösterildiği gibi n tane kriterin m tane alternatif için oluşturduğu karar matrisi DW, mxn boyutlu bir matris olacaktır. Son olarak eşitlik (2.13) kullanılarak DW karar matrisinin W üstünlük matrisi ile çarpılmasıyla sonuç vektörü olan R vektörünü oluşturmaktadır [27].

$i=1,2,3,\dots,m$ ve $j=1,2,3,\dots,n$ olmak üzere,

$$DW = [w_{ij}]_{m \times n} \quad (2.12)$$

$$R = DW \times W \quad (2.13)$$

Bu çalışmada, savaş uçağı geliştirme programlarına etki eden en önemli kriterlerin belirlenmesi amaçlandığı için AHP yöntemi kriterleri önem ağırlıklarına göre sıralamak için kullanılmaktadır.

3. UYGULAMA

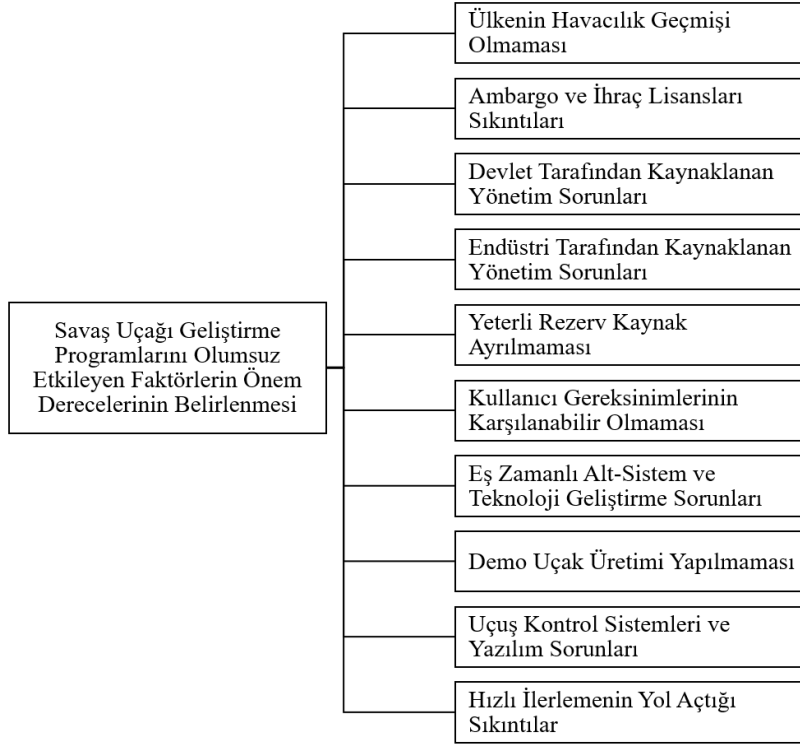
Bu bölümde, çalışma kapsamında AHP yöntemi uygulanırken bölüm 2.2’de açıklanan adımlar izlenmiş ve sırası ile bu adımların nasıl uygulandığı anlatılmıştır. Ancak bu çalışmada amaç faktörlerin önem ağırlıklarını belirlemek olduğu ve alternatifler bulunmadığı için eşitlik (2.12) ve (2.13) kullanılmamıştır. AHP yönteminin karar vericiler tarafından anlaşılması ve kullanılması kolay bir teknik olması ve alternatifler belirlenmeden kriterlerin önem ağırlıklarına göre sıralanmasına olanak vermesi, yapılan çalışma için AHP yönteminin seçilmesindeki en önemli etmenlerdir.

3.1 Problemin Tanımlanması

Bu çalışma kapsamında tanımlanan problem savaş uçağı geliştirme programlarına olumsuz etkisi olan faktörlerin ve önem ağırlıklarının belirlenmesidir. Problemin çerçevesini tanımlamak için üçüncü nesil, dördüncü nesil, nesil dört buçuk ve beşinci nesil olan savaş uçaklarından oluşan 22 adet savaş uçağının geliştirme süreçleri incelenmiştir. Faktörleri (kriterleri) belirlemek için incelenen geliştirme programlarında karşılaşılan zorluklar ve olumsuz etkiler derlenmiştir. Bu faktörlerin ikili karşılaştırmalarını yapmaları için Türkiye’de yer alan, savunma sanayi ve havacılık alanlarında faaliyet gösteren bir firmada, Sistem Mühendisliği bölümünde çalışan uluslararası ve milli projelerde tecrübe edinmiş konu uzmanı kişiler arasından 11 tanesi karar verici olarak belirlenmiştir.

3.2 Amaç, Kriterler, Alt Kriterler (Varsa) Ve Alternatifler (Karar Noktaları) Belirlenerek Karar Hiyerarşi Yapısının Kurulması

Bu çalışmada faktörlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında faktörlere bağlı olarak aralarından optimum olanının seçileceği karar noktaları yer almamaktadır. Bu sebeple AHP yöntemi seçim yapmak amacı ile değil, faktörlerin önem ağırlıklarının belirlenmesi amacı ile uygulanmış ve Şekil 3.1’de gösterilen hiyerarşi yapısı sadece amaç ve ana faktörlerden oluşacak şekilde kurulmuştur. Hiyerarşi yapısı, görsel kaygılar sebebi ile içeriğinin kolay okunabilmesi için soldan sağa doğru gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Uygulamanın hiyerarşi yapısı

Hiyerarşi yapısında yer alan faktörlerin belirlenmesi için üçüncü nesil, dördüncü nesil, nesil dört buçuk ve beşinci nesil olan 22 adet savaş uçağı geliştirme programı açık kaynak verileri kullanılarak incelenmiştir. İncelenen 22 adet savaş uçağı geliştirme programı, savaş uçaklarının nesillerine göre sıralanmış ve geliştirici ülke bilgisi ile Tablo 3.1’de verilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda bu geliştirme programlarını olumsuz olarak etkileyen 10 adet faktör tespit edilmiştir. Bu faktörler; ülkenin havacılık geçmişinin olmaması, ambargo ve ihraç lisansları sıkıntıları, devlet tarafından kaynaklanan yönetim sorunları, endüstri tarafından kaynaklanan yönetim sorunları, yeterli rezerv kaynak ayrılmaması, kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir olmaması, eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları, demo uçak üretimi yapılmaması, uçuş kontrol sistemleri ve yazılım sorunları ve hızlı ilerlemenin yol açtığı sıkıntılar olarak belirlenmiştir.

Devam eden bölümlerde faktörler (kriterler) ve etkileri detaylıca açıklanmış ve incelenen savaş uçağı geliştirme programlarında yaşanan örnek olaylara yer verilmiştir.

Tablo 3.1 İncelenen Savaş Uçağı Geliştirme Programları

İncelenen Savaş Uçağı Geliştirme Programı	Nesil	Savaş Uçağını Geliştiren Ülke
F-35 Joint Strike Fighter (JSF)	5	ABD
F-22 Raptor	5	ABD
Rafale	4.5	Fransa
Eurofighter Typhoon	4.5	İngiltere – Almanya – İtalya – İspanya
Su-35	4.5	Rusya
SAAB JAS39 Gripen	4.5	İsveç
Tornado	4	İngiltere – Almanya – İtalya
MiG-29	4	Rusya
MiG-27	4	Rusya
JF-17 Joint Fighter	4	Pakistan – Çin
J-10	4	Çin
HAL Tejas	4	Hindistan
F-18 Hornet	4	ABD
F-16 Fighting Falcon	4	ABD
F-15 Eagle	4	ABD
F-14 Tomcat	4	ABD
F-117 Night Hawk	4	ABD
Su-17	3	Rusya
F-5 Freedom Fighter	3	ABD
F-4 Phantom	3	ABD
Chengdu F-7	3	Çin
AV-8A/B Harrier	3	İngiltere

3.2.1 Ülkenin havacılık geçmişinin olmaması

Ülkenin havacılık geçmişinin olmaması savaş uçağı geliştirme programlarının uzamasına neden olmaktadır. Bu duruma en iyi örnek HAL Tejas programıdır. Hindistan Savunma Bakanlığı'nın basın açıklamasına göre; yeni teknolojileri en başından geliştirmeye çalışırken, ülkede eğitimli ve tecrübeli insan gücünün olmaması, alt yapı, üretim ve test tesislerinin eksikliği, gelişmiş ülkelerde geliştirilen kritik sistemlerin tedarik edilememesi ve

bu sistemlerin yerli olarak geliştirilememesi (özellikle motor ve aviyonik-görev sistemleri [29]) projenin gecikmesinde ve maliyetin artmasında en büyük etkisi olan faktörlerdir [30].

Bir diğer örnek ise JF-17 (Joint Fighter) ya da FC-1 (Fighter China) ismiyle bilinen Pakistan ve Çin ortaklığıyla geliştirilen savaş uçağı programıdır. Proje ilk başladığında Pakistan, ABD ve Çin devletleri var olan bir savaş uçağının tasarımına dayanarak Chengdu Super-7'yi geliştirmek için bir araya gelmişlerdir. Ancak önce ABD sonra da Pakistan siyasi sebeplerden dolayı projeden çekilmiştir. Çin devleti bir süre daha düşük maliyetlerle projeye devam etmeye çalışmış ancak başarılı olamamıştır. Planlanandan 4 yıl sonra Çin devleti projeyi 'Fighter China' ismiyle yeniden başlatmıştır ve projenin başlatılmasından yaklaşık 4 yıl sonra yine Pakistan devleti ile ortak olarak devam etme kararı alınmıştır. Ancak Pakistan'ın nükleer silah testlerine yoğunlaşması, tecrübe ve uygun tesis eksikliğinden dolayı ilerleme çok yavaş olmuştur. Ayrıca uçağın bütün tasarım aktiviteleri Çin'de gerçekleşmiştir. Proje kapsamında Pakistanlı mühendisler ve pilotlar Çin'de kapsamlı eğitimler almışlardır ancak Pakistan'daki tesislerde çeşitli bölümlerde destek amaçlı Çinli personeller bulunmuştur. Bu tecrübe eksikliği sebebiyle Pakistan devleti projenin geliştirme aşamasından çok üretim aşamasında katkı sağlayabilmiştir [31], [32].

Lockheed Martin firmasının geliştirdiği F-177A Night Hawk uçağı ise bu etmenin önemini gösteren olumlu örneklerden biri olarak verilebilir. İlk defa düşük görünürlüklü bir savaş uçağı geliştirilmiş olmasına rağmen Lockheed firmasının keşif uçakları olan düşük görünürlüklü SR-71 ve U-2 geliştirme programlarında edinilen tecrübe sayesinde, proje çok az sayıda personel ile (projenin gizlilik derecesi yüksek olduğu için minimum sayıda personel projeye dahil olmuştur.) kısa sürede başarılı bir şekilde sonuçlandırılmıştır [33], [34].

3.2.2 Ambargo ve ihraç lisansları sıkıntıları

Ülke dışından alınan bilgi ve alt-sistemlerin her zaman ambargo veya ihraç lisansı sorunları ile karşılaşma olasılığı vardır. Ülkelerin siyasi ve politik durumuna göre bu olasılık oranı değişse de savaş uçağı geliştirme programlarını fazlaca etkilediğinden mutlaka göz önünde bulundurulması gereken bir risktir. Bu konuda en belirgin örnek yine HAL Tejas programıdır, program, ABD ile yapılan motor tedariki anlaşmasının uygulanan ambargo nedeni ile askıya alınması, ABD'de devam etmekte olan uçuş testleri ve ABD tarafından

sağlanan desteklerin kesilmesi sonucunda yaklaşık 5 yıl (ambargo sebebi ile 3 yıl, daha sonra tekrar sistemin işlemesi ile artı 2 yıl) gecikmiştir [35], [29].

JF-17 programı da ambargolardan etkilenmiştir. Pakistan, ABD ve Çin devletleri ilk olarak Chengdu Super-7'yi geliştirmek için bir araya gelmiş ve 2 yıl sonra ABD projeden çekilmiştir. ABD'nin projeden çekilmesinden 1 yıl sonra ise Pakistan, ABD ambargosu sebebiyle projeden çekilmek durumunda kalmıştır. Daha sonra 'Fighter China' programında Pakistan ve Çin bir araya gelmiş olsa da ABD ambargosu programda gecikmeye sebep olmuştur [31].

Çin tarafından geliştirilen J-10 savaş uçağı da ilk tasarlandığı aşamada motorlarının ve silah sistemlerinin Avrupa ve ABD'den destek alınarak yapılması ön görülmüştür ancak batılı devletler tarafından uygulanan ambargo sonucu programda gecikmeler yaşanmıştır. Daha sonra bu sorun Rusya'dan destek alınarak çözülmüştür [36].

3.2.3 Devlet tarafından kaynaklanan yönetim sorunları

Yönetimsel sorunların en başında Program Yönetim Organizasyonu'nda oluşan istikrarsızlıklar ve karar mekanizmalarının net tanımlı olmaması gelmektedir. Devlet tarafı, müşteri ya da kullanıcı olarak geliştirme programlarında karar yetkisine sahiptir. Ancak programlarda genelde ülkelerin silahlı kuvvetleri kullanıcı olarak yer almaktadır ve sık aralıklarla gerçekleşen görev değişiklikleri; fikir ayrılıklarına ve önceki dönemde verilen kararların tekrar gözden geçirilmesine sebep olmaktadır. Bu duruma en iyi örnek F-35 JSF programıdır; devlet tarafından yönetilen bir program olmasına rağmen devlet tarafı program yönetimi sürekli değişmektedir. Askeri havacılık uzmanı olan Jeremiah Gertler'in 2018 yılında yazdığı Kongre Araştırma Hizmeti Raporu'na (Congressional Research Service Report) göre program yönetimi hava kuvvetleri ve donanma ortaklığı ile sağlanırken sorumluluklar da iki bölüm arasında değişmektedir. Örneğin; hava kuvvetleri karar yetkisine sahipken program direktörlüğü donanma tarafından sağlanmakta ya da tam tersi şekilde belirlenmektedir. Program yöneticileri 2 yıl arayla değişmektedir. Bu durum da program yönetimi tarafından alınan kararlarda düzensizliğe ve gecikmelere yol açmaktadır [37].

Çok uluslu olarak geliştirilen projelerde ise ülke çıkarlarının uyuşmaması sebebiyle devletlerin anlaşmazlığa düşmesi sorun yaratmaktadır. Örnek olarak; Fransa, İngiltere, Almanya, İtalya ve İspanya ülkelerinin katılımıyla geliştirilmeye başlanan Eurofighter Typhoon projesinde, Fransa'nın isterlerinin diğer ülke isterleriyle uyuşmadığı gerekçesiyle

programdan ayrılması sonucu aksaklıklar yaşanmıştır. Yine aynı projede, tedarikçi firmalar ile yapılan anlaşmalar katılımcı 4 devlet ile tedarikçi firmalar arasında yapılmış ve bu durum yedek parça desteğinde sıkıntı yaratmıştır. Devlet tarafından kaynaklı olarak sayılabilen bu gibi politik ve siyasi problemler Eurfighter Typhoon uçağının planlanandan 54 ay sonra servise girmesine (büyük ölçüde) sebep olmuştur [38].

Su-35 uçağı geliştirme programının başlangıcından itibaren Rusya Federasyonu ve Rus Hava Kuvvetleri arasında yaşanan fikir ayrılıkları sebebiyle kapsamı değişmiş ve program gecikmeler yaşamıştır. Rusya Federasyonu tarafından başlatılan ve yönetilen programlarda Rus Hava Kuvvetleri'nin talebinin olmaması süreç boyunca problem yaratmıştır. 2005 yılında yeniden gelişimi sürdürme kararı alınana kadar, Rus Hava Kuvvetleri tarafından talep olmaması ve dış talep eksikliği nedeniyle ihracat yapılamaması sebebiyle 1997 yılında Su-35 programı kapatılmıştır [39].

Lockheed Martin firmasının geliştirdiği F-117 Night Hawk uçağı yine bu etken için olumlu bir örnek olarak tarihte yerini almaktadır. Projenin gizlilik derecesi çok yüksek olduğu için proje yönetimi sürekli olarak Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından sağlanmıştır. Proje yönetim ekibi Amerikan Hava Kuvvetleri tarafından özenle seçilmiş, yetki ve inisiyatif kullanabilecek az sayıda görevliden oluşturulmuştur. Bu kişilere çok geniş yetkiler verilmiş ve bağımsız karar vermeye teşvik edilmişlerdir. Bu sayede, F-117 Night Hawk geliştirme programında devlet yönetimi tarafından oluşabilecek gecikmelerin ve problemlerin önüne geçilmiş, proje kısa sürede başarılı hale gelmiştir [33].

3.2.4 Endüstri tarafından kaynaklanan yönetim sorunları

Son karar yetkisine sahip tek sorumlu firmanın (Single Point of Accountability) olmaması savaş uçağı geliştirme programlarının takvimlerinde gecikmelere neden olmaktadır. Son kararları alacak, uçağın nihai sorumlusu olacak tek bir firma olmadığı durumda üst seviye kararlarda sorumluluk ve yetki karmaşası yaşanmaktadır. Buna en iyi örnek, F-22 Raptor geliştirme programında şirketler arasındaki sorumluluğun eşit dağıtılması, yani sorumlu tek bir ana yüklenicinin olmamasıdır. Geliştirme sürecinde 3 firma (Boeing, Lockheed, General Dynamics) eşit sorumluluğa sahipken her firma sadece kendi alanından sorumlu olmuştur. Bu sebeple işin bütününden sorumlu bir firma olmaması, programda verilecek üst seviye kararların alınmasını zorlaştırmış ve gecikmelere yol açmıştır [40].

Eurofighter Typhoon geliştirme programına 5 ülkenin (Fransa, İngiltere, Almanya, İtalya ve İspanya) katılımı ile başladığı için endüstri tarafından kaynaklanan yönetim problemleri projenin çok başlarında ortaya çıkmaya başlamıştır. Fransa, ilk başta proje sahibi olarak görünmesine rağmen, gereksinimlerle ilgili anlaşmazlıklar (Fransa'nın çok fonksiyonlu bir jet istemesi, İngiltere'nin yer saldırısını ön planda tutmak istemesi başlıca sebeplerdendir.) ve politik çatışmalar yüzünden devre dışı kalmış ve Dassault Rafaele uçağının geliştirilmesiyle son bulacak kendi milli projesine başlamıştır. Sonrasında ise 4 devlet (İngiltere, Almanya, İtalya ve İspanya) arasında üretim sürecinin anlaşılması ve planlanması zaman almıştır. Projenin ilerleyen dönemlerinde ise tedarikçi firmalar ile sözleşmelerin 4 devlet ile tedarikçi arasında imzalanması nedeniyle yedek parça desteğinde sıkıntı yaşanmıştır. Yedek parça problemleri sebebiyle yıllık uçuş saatleri planlanandan %13 daha az gerçekleşmiştir. Tedarik probleminin yanı sıra bahsi geçen politik problemlerin de projenin planlanandan 54 ay sonra servise girmesinde etkisi büyüktür [38].

F/A-18 geliştirme programında ise özellikle F/A-18E/F versiyonları geliştirilirken F/A-18 A/B/C/D programlarındaki tecrübe kullanılarak sorumluluklar ve yetkiler çok açıkça belirlenmiştir. Ayrıca deneyimli bir yönetim takımı ve sorumlulukları çok net belirlenmiş eski iş ortaklıklarına dayalı alt yüklenicilerin seçilmesi sayesinde olası gecikmelerin önüne geçilmiştir [40].

Tek bir ana yüklenici ve sorumlu firma belirlemek ve nihai sistemin tek sorumlusu olarak atamak gerekmektedir. Birden fazla firmanın olması durumunda ise kuralları net tanımlı bir ortak girişim (JV- Joint Venture) kurmak önerilmektedir.

Alt-sistem geliştirme, üretim ve tedarik konularında alt yüklenici firma belirleme görevini de ana sorumlu firmaya vermek gerekmektedir.

İhtiyaç duyulan alanları belirlemek ve ihtiyaç duyulan seviyede danışmanlık ve/veya alt yüklenicilik hizmeti almak doğru yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır.

3.2.5 Yeterli rezerv kaynak ayrılmaması

Programda yer alan riskli konularda çıkabilecek sorunlar için rezerv yönetim bütçesi (hem finansal hem yönetsel) ayrılması, programın belirlenen sürede tamamlanması için fazlaca önemlidir.

Örnek olarak F-22 Raptor programının başlangıcında takvim ve maliyet tahmini çok gerçekçi yapılmamış ve rezerv kaynak %2 olarak belirlenmiştir. Program çok sayıda tasarım ve doğrulama riski içerdiğinden ortaya çıkan planlanmamış maliyetlerde sürekli ilave bütçe

ihtiyacı ve onay gerekliliği ortaya çıkmıştır. F-22 Raptor programında uçak sayıları düşürülerek, ortaya çıkan mali kaynak geliştirmeye aktarılmıştır. Bu kararların verilmesi zaman almakta ve proje takviminin gecikmesine sebep olmaktadır [40].

İyi örnek olarak; içinde çok daha az yeni geliştirilen alt-sistem ihtiva eden F/A-18E/F programında bu oran %10 olarak belirlenmiş ve programda buna ilave kaynak ihtiyacı oluşmamasının yanında ayrılan bu kaynak sayesinde öngörülemeyen problemleri çözmek için ayrılan bütçe ve zaman sayesinde yaşanması muhtemel problemler en aza indirilmiştir [40].

Sonuç olarak, programa uygun (içerdiği riske göre) bir oranda yedek yönetsel kaynak ayırmanın programın takviminde tamamlanması için önemli olduğu görülmektedir.

3.2.6 Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir olmaması

Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir seviyede olması, programın takviminde tamamlanabilmesi için çok önemlidir. Mümkün olmayan hedeflerdense gerçekleştirilebilir hedeflere yoğunlaşılmalıdır.

Zor gereksinimleri karşılayacak bir savaş uçağı yapmak için çok uzun süren bir geliştirme sürecindense, teslim edilen ama gereksinimleri büyük oranda karşılayan bir ürün olması çok daha iyidir. Ayrıca, bir savaş uçağının en iyi test sahası gerçek operasyondur ve en kıymetli geliştirme girdisi gerçek operasyondan gelen girdilerdir. Yani başlarda gereksinimleri karşılanabilir seviyede belirleyip proje ilerledikçe ve tecrübe arttıkça gereksinimleri de geliştirmek daha az riskli bir yaklaşım olacaktır.

Bu duruma örnek olarak F-22 Raptor geliştirme programının kullanıcı gereksinimleri çok yüksektir. Yüksek kullanıcı isterleri arasında düşük görünürlük, entegre aviyonikler ve yeni geliştirilen itki sistemi yer almaktadır. Özellikle düşük görünürlük isterini karşılamak için uçağın yapısı ve kullanılacak malzemelerin geliştirilmesi en zorlayıcı gereksinim olurken tahmin edilenin çok ötesinde bir maliyete ve insan gücü ihtiyacına sebep olmuştur. Bunun sonucunda hem takvim hem de maliyet proje başlangıcında istenilenden uzaklaşmış ve programın başlangıcında 750 adet uçak talep edilirken programın sonunda 750 adet uçak için de planlanan maliyetten de yüksek bir maliyet ile kullanıcı ihtiyaçlarını karşılamaya yakın sadece 187 adet teslim edilebilmiştir [40], [41].

Bu bakış açısını destekleyecek en iyi örnek F/A-18 programıdır, programın ilk başlarında F/A-18A/B versiyonu IOC (Initial Operational Capability) tarihi geldiğinde, talep

edilen gereksinimlerin tamamını karşılayamamaktadır. Kullanıcı (ABD Donanması) takvimi geciktirmemek adına IOC beklentilerini düşürerek uçağı daha az kabiliyet ile teslim almış ve geliştirmelerin paralel olarak devam etmesini sağlamıştır. Daha sonra seri C/D/E/F/G versiyonları gelişmeye devam etmektedir. Hep bir önceki tecrübeden faydalanıldığı için başarılı bir savaş uçağı geliştirme programı olarak kabul edilebilir. F/A-18 geliştirme programında F/A-18'in tüm versiyonları ile birlikte toplamda 2200 adetten fazla üretilmiştir [42].

Sonuç olarak; çok sayıda karşılanması zor gereksinim; geliştirme, üretim ve idame maliyetleri yüksek ve proje takvimi uzun bir uçağı; bu durum da planlanandan daha az sayıda satışa sebep olmaktadır.

3.2.7 Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları

Savaş Uçağı Geliştirme Programlarına hazırda var olan alt-sistemler ile başlamak çok önemlidir. Özellikle itki sistemi (motor) konusunda bu noktaya dikkat etmek gereklidir çünkü hem uçağı hem de motoru sıfırdan geliştirmeye çalışan programların büyük çoğunluğu uzamıştır.

Örnek olarak F-22 Raptor programında isterleri karşılayacak tamamen yeni bir motor geliştirilmiştir ve zaten yeterince karmaşık olan savaş uçağı geliştirme programının yanında yine bir o kadar karmaşık bir sistem olan itki sistemi olarak Pratt & Whitney F119 geliştirme programı başlatılmıştır. Üstelik motorun sıcak bölgesi sıfırdan tasarlandığı için beklenenin fazlaca üstünde sorunlar yaşanmış ve bu durum başta maliyete sonra da proje takvimine olumsuz olarak yansımıştır [40].

F-35 JSF geliştirme programında ise hem geleneksel iniş / kalkış yapabilen versiyon F-35A ve uçak gemisi için geliştirilen versiyon F-35C için hem de kısa kalkış / dikey iniş yapabilen versiyon F-35B için iki farklı konseptine sahip F135 motorunu geliştirilmiştir. Yine Pratt & Whitney tarafından geliştirilen bu motorlar aslında F-22 Raptor için geliştirilen F119 motorundan türetilmesine rağmen tamamen yeni bir konsept oluşturulduğu için zorlayıcı olmuştur. Ayrıca projenin başlangıcındaki konsept gösterim fazında, Pratt & Whitney tarafından Boeing X-32 ve Lockheed X-35 gösterim uçaklarının iki farklı versiyonları için toplamda dört adet motor geliştirilmiştir. Sonuç olarak iki uçağın iki farklı versiyonunun yarıştığı bir yarışmaya, iki ayrı motorun da yarışması eklenmiştir. Böylece seçenekler çoğalmış, yarışma süreci uzamıştır. Rolls Royce firmasının Pratt & Whitney

firmasının dikey kalkış sisteminden sorumlu alt yüklenici olarak yer aldığı motor geliştirme programında, 1996 yılında (Pratt & Whitney firmasının itki sistemi için alt yüklenici olarak seçilmesinden 1 yıl sonra), F-35 JSF programı için rekabetten uzak alternatif motor programı devreye alınmıştır. General Electric ve Rolls Royce tarafından F136 ismiyle (F136 motoru F-22 Raptor programının konsept gösterim fazında F119 motoruyla yarışan F120 motorunun türevidir.) 2006 yılına kadar geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Aralık 2011’de The General Electric/Rolls Royce Fighter Engine Takımı programa katkılarını sonlandırmıştır. Alternatif motor geliştirme programı iptal edilmiştir. Program yönetimi, F135 programının başarılı bir şekilde ilerlemesini ve alternatif motor programından kaynaklı kazanımların programa yatırılacak giderleri karşılayamayacak olmasını iptal sebebi olarak öne sürmüştür [43], [37].

HAL Tejas programında kullanılan F404-GE-F2J3 motorunun tedariki de ABD’nin uyguladığı ambargo sonucu belirsizliğe girmiştir. Bu belirsizlik üzerine Hindistan kendi motorunu geliştirmeye karar vermiş ve Kaveri Projesi’ni başlatmıştır. Ancak Kaveri Projesi’nde yaşanan gecikmeler sebebiyle prototiplerin ambargodan önce (1998) alınan F404-GE-F2J3 motoru ile testlere başlamasına karar verilmiştir. Ancak bu motor thrust-to-weight ratio’u (itki / ağırlık oranını) düşürmüş ve sustained turn rate’i (sürekli dönüş oranını) etkilemiştir. Bu yüzden 2012 yılında daha güçlü olan GE-F414 motoruyla değiştirilmiştir. Bu motor daha büyük ve ağır olduğu için uçakta büyük değişiklikler (ağırlık merkezi, motor hava alığı boyutu ve ağırlık) ve dolayısıyla yeni testler gerektirmiştir. Birbiri üstüne eklenen bu sorunlar HAL Tejas geliştirme programının hem maliyetini hem de takvimini olumsuz yönde etkilemiştir [44], [35].

Eş zamanlı geliştirilen itki sistemlerinin yanında, teknoloji seviyesi yeterli olgunlukta olmayan alt-sistemlerin (örnek olarak; aviyonik, silah ve görev sistemleri) de eş zamanlı olarak geliştirilmesi / yenilenmesi savaş uçağı geliştirme programlarını olumsuz etkilemektedir.

F-22 Raptor geliştirme programında gecikme nedeni olarak, yüksek riskli yeni teknolojilerin (gövde, aviyonik ve itki) aynı anda geliştirilmeye çalışılması gösterilmektedir. Özellikle aviyonik sistemler ciddi maliyet ve risk unsuru taşımaktadır. F-22 Raptor geliştirme programında ileri teknoloji radar kullanılmış ve geliştirme, test ve hatalarını düzeltme süreci gecikmelere neden olmuştur.

Paralel teknoloji ve ürün geliştirmenin bir sonucu olarak; uçak yapısı tasarımının istikrarlı olmaması kütle yönetimini zorlaştırmış ve ağırlık konusu sürekli problem olmuştur. Ayrıca, yeni geliştirilen görünmezlik teknolojisine uygun malzeme kullanımı hem maliyet artırıcı hem de programı uzatan sebepler arasındadır [40].

F-35 JSF geliştirme programında ise tamamı yeni nesil aviyonik, görev ve bakım sistemleri gibi teknoloji seviyesi yeterli olgunlukta olmayan sistemlerin geliştirilmesi de uçak tasarımıyla eş zamanlı yapılmıştır. Program süresince en büyük sorun bu sistemlerden çıkmıştır. Bu durum, programda maliyet ve takvim açısından olumsuz etkilere sebep olmuştur [37].

Yine yaşanan ABD ambargoları sonucu HAL Tejas geliştirme programında yerli radar geliştirilmesi için çalışmalar devam etmiş ve prototip radar proje başlangıcından yaklaşık 20 yıl sonra tamamlanmıştır fakat geliştirilen radarlar Tejas uçuş prototiplerinde kullanılmamıştır. Bu durum proje takvimini etkileyen önemli unsurlardan biridir [29].

Bu konuda olumlu örnek yine F/A-18E/F geliştirme programıdır, program kendini ispatlamış bir uçağı (F/A-18C/D) ve alt-sistemlerini temel alarak, gövdenin yenilenmesi, motorun iyileştirilmesi ve aviyonik sistemlerin aşamalı olarak geliştirilmesini içermektedir. Bütün yenilikler ve güncellemeler makul seviyede tutulmuş ve program başarıya ulaşmıştır. Ayrıca aviyonik sistemlerde oluşabilecek gecikmelere yedek olarak F/A-18C/D versiyonun aviyonik sistemleri ve motor geliştirmede çıkabilecek sorunlara karşı F/A-18C/D versiyonun motoru her zaman yedek plan olarak tutulmuştur [45].

Sonuç olarak; hazır veya minör modifikasyon içerecek motor, başlangıç için yeterli ve olgun teknolojiye sahip aviyonik, görev ve silah sistemleri ile uçak geliştirme programına başlanmalıdır ve blok planları hazırlanarak, yeni geliştirilen alt-sistemler belirli bir sıra ile uçağa entegre edilmelidir.

3.2.8 Demo uçak üretimi yapılmaması

İncelenen uçak programlarının çoğunda seri üretim uçak geliştirme programına geçilmeden önce hızlı, temel konsept gösterimi (Demo Uçağı) yapılmaktadır. Hatta ABD tarafından geliştirilen programlar başlatılmadan önce belirlenen firmalardan kavramsal tasarım çalışması istenmektedir, ilgilenen firmalar kavramsal tasarımları ile yarışmaya katılmakta ve seçilen firmalardan demo uçak ile temel konsept gösterimi yapılması istenmektedir. Demo uçaklar karşılaştırıldıktan sonra en optimum olan alternatif seçilmektedir. Savaş Uçağı Geliştirme Programı resmi olarak bu seçimden sonra başlatılmaktadır. Böylece hem bir rekabet ortamı oluşturulmuş ve dolayısı ile firmaların hep daha iyiye başarma yönelimi olmuştur hem de konsept gösterimi öncesinde kavramsal

tasarım yapıldığı için karşılaşılabilecek problemler ve tasarım zorlukları önceden tahmin edilebilir hale gelmiştir.

F-22 Raptor geliştirme programının konsept gösterim fazında, Lockheed firması YF-22A isimli demo uçağı ile yarışırken Northrop firması da YF-23A isimli uçağı ile yarışmıştır. Ancak bu sırada sadece uçakların değil uçaklarda kullanılmak üzere geliştirilecek olan motorların da konsept gösterimi yapılmış ve General Electrics firması YF120 isimli motor ile, Pratt & Whitney firması ise YF119 isimli motoru ile yarışmaya katılmıştır. İki firma da ikişer adet demo uçak geliştirmiş ve bu demo uçaklar her iki demo motor ile uçmuş ve aslında yarışmada dört farklı kombinasyon ile 4 adet uçak değerlendirilmiştir. Yarışma sonucunda Pratt & Whitney firmasının geliştirdiği YF119 isimli motor ile uçacak olan Lockheed firmasının geliştirdiği YF-22A isimli demo uçak seçilmiş ve Lockheed resmi olarak geliştirme programına başlamıştır. Konsept geliştirme fazı yaklaşık 10 yıl sürmüştür. Ancak geliştirme programı resmi olarak başlatıldığında elde edilmiş olan tecrübelerin demo uçak çalışmaları yapılmadan elde edilmesi çok uzun yıllar sürebilecekken demo uçaklar sayesinde yaşanabilecek problemler için önlemler alınmıştır ve bu durum projenin takviminin uzamasına engel olmuştur [46], [41].

F-35 JSF geliştirme programı da benzer bir süreçten geçmiştir. İlk aşama olan kavramsal tasarım fazında 3 firma (McDonnell Douglas, Lockheed Martin ve Boeing) F-35 uçağının varyantları için konsept geliştirirken Pratt & Whitney firması F-22 uçağında kullanılan F-119 motorunun türevlerini geliştirmeye başlamış, General Electrics firması ise yine F-22 uçağının demo uçaklarında kullanılan ancak seçilmeyen YF120 motorunun türevlerini geliştirmeye başlamıştır. F-35 JSF geliştirme programında aday firmaların 3 versiyon 2 farklı demo uçak üreteceği düşünüldüğünde aday olan iki motor firmasının da her demo uçak için farklı bir motor üretmesi gerekeceğinden yarışmaya katılacak demo uçak ve demo motor kombinasyonlarının sayısının artması ve karar verme sürecinin F-22 Raptor geliştirme programında olduğu gibi uzama ihtimali bulunmaktadır (F-22 Raptor geliştirme programında tek versiyonlu bir uçak için 2 tane demo uçak üreten ve 2 tane de demo motor üreten firma yer almaktadır ve her iki uçak da iki motor ile test edildiği için toplamda 4 adet uçak değerlendirilmiştir. F-35 JSF geliştirme programında ise yine 2 firmanın demo uçak için yarıştığı varsayılırsa 2 firma toplamda 4 çeşit (toplamda 8 adet – her motor için bir demo uçak) demo uçak geliştirip üretecek ve 2 motor firması ise toplamda 8 adet demo motor geliştirip üretecektir. Sonuç olarak toplamda 8 adet uçağın test edilmesi gerekeceğinden sürecin oldukça uzaması öngörülmüştür.). F-119 ve YF120 motorlarının türevlerinin geliştirilmeye başlanmasından 1 yıl sonra daha düşük risk ve maliyet sağlayacağı

düşünülerek Pratt & Whitney firmasının F-119 motorunun türevlerinin F-35 JSF programı için geliştirilmesine karar verilmiştir. Bu erken verilen karar sayesinde F-22 Raptor geliştirme programında yaşanan 2 ayrı demo uçak için 2 ayrı demo motor geliştirilmesi sürecinde kaybedilen zamanın F-35 JSF programında da kaybedilmesinin önüne geçilmiştir. F-119 motorunun seçiminden 1 yıl sonra ise Boeing ve Lockheed Martin firmaları tarafından 3 ayrı versiyon için 2 farklı uçak tasarlanmasına ve üretilmesine karar verilmiştir. Bu karardan yaklaşık olarak 5 yıl sonra da Beoing X-32 isimli uçağının versiyonları ile Lockheed Martin ise X-35 isimli uçağının versiyonları ile yarışmaya katılmıştır. İki firmanın da tasarımları ana isterleri karşılmasına rağmen X-35 demo uçağı ile Lockheed Martin firmasının maliyet için en uygun seçeneğı sunduğı belirtilmiş ve Lockheed Martin firması yarışmayı kazanmıştır. F-35 JSF geliştirme programında konsept geliştirme fazı yaklaşık olarak 7 yıl sürmüştür. Ancak programın başlangıcından önce bir konsept gösterim fazı olması ortaya çıkabilecek sorunları azaltmış ve takvimin uzamasının önüne geçilmesini sağlamıştır [47].

F/A-18 Hornet geliştirme programında konsept geliştirme fazı için bir yarışma düzenlenmemiş olmasına rağmen; F-16 geliştirme programında, F-16 ile yarışıp kaybeden Northrop firmasının YF-17 Cobra isimli demo uçağı esas alınarak F/A-18 Hornet uçağı geliştirilmeye başlanmıştır. YF-17 demo uçağı da F-16 programının konsept geliştirme fazında kendisini bir ölçüde kanıtlamış bir tasarım olduğu için karşılaşılabilecek problemlerin öngörülmesi sağlanmış ve takvimin uzamasının önüne geçilmiştir [48].

F-117 Night Hawk geliştirme programı öncesinde Lockheed ve Northrop firmaları teknoloji gösterimi için 2 adet deneysel test uçağı (XST: Experimental Survivable Test-beds) üretmiştir. Bu programda ana ister düşük görünürlük olduğu için yarışmanın ilk aşamasında uçabilen bir demo uçak talep edilmemiş sadece görünmezlik isterinin sağlanıp sağlanamayacağı değerlendirilmiştir. Yarışmayı Lockheed firması kazanmış ve Have Blue programı altında 2 adet 2/3 ölçekli uçabilen demo uçak üretmiştir. Üretilen demo uçakların düşük görünürlük isterini yerine getirebildiğı kanıt olarak gösterilmiş ve Senior Trend adı altında gerçek boyutlu bir gösterim uçağı üretmesi için Lockheed firması ile geliştirme süreci resmi olarak başlatılmıştır. Bu projede ise konsept geliştirme fazı, ihtiyacın ortaya çıkışından 5 yıl sonra sona ermiştir. Bu konsept geliştirme fazı ve demo uçaklar sayesinde daha önce hiç denenmemiş düşük görünürlük isterinin uçağın geometrisini değiştirilmesiyle sağlanabileceğı kanıtlanmıştır [33], [34].

Eurofighter Typhoon geliştirme programı öncesinde ise teknolojik alt yapıyı oluşturmak için İngiltere'nin British Aerospace Systems (BAE Systems – UK) firması

tarafından Deneysel Uçak Programı (Experimental Aircraft Program – EAP) başlatılmıştır. 3 yıl süren bu program sonucunda Deneysel Uçak Programı'nın ürünü olan uçak ilk uçuşunu gerçekleştirmiştir. Bu program sayesinde Eurofighter Typhoon için gerekli teknolojik alt yapı ve tecrübe kazanılmış, program süresince karşılaşılabilecek tasarım zorlukları öngörülebilmiştir [49].

Bütün bu örneklerden yola çıkarak, seri üretim uçaklarını geliştirmeye başlamadan önce temel manevra kabiliyeti ve kritik konseptin gösterildiği demo uçak geliştirme sürecinin faydası görülmektedir. Temel konseptin ve yeni teknolojilerin uygulanabilir olup olmadığını görmek için gerçekleştirilen demo uçak geliştirme programları sayesinde ihtiyacı karşılamak üzere geliştirilecek savaş uçağı için gerekli tecrübe ve alt yapı oluşturulmakta, karşılaşılabilecek teknik zorluklar için öngörü edinilmektedir. Böylece asıl savaş uçağı geliştirilirken sıfırdan başlanmamakta ve var olan bir konsepti iyileştirerek devam edilmektedir. Bu durum da projenin takvimini ve maliyetini olumsuz etkileyebilecek tecrübesizlikten kaynaklanan sorunların önüne geçmektedir.

3.2.9 Uçuş kontrol sistemleri ve yazılım sorunları

İncelenen savaş uçağı geliştirme programlarında teknik sorunların en çok uçuş kontrol sisteminden ve yazılım hatalarından kaynaklandığı görülmektedir ve bu sistemlerde meydana gelen hatalar hem geliştirme sürecinde hem de uçağın operasyonel olduğu dönemde uçak kaybına yol açabilmektedir.

Savaş uçaklarında uçuş kontrol sistemleri; fly-by-wire sistem ile, yani pilottan bağımsız bir bilgisayar kontrollü yapay zekaya sahip bir sistem ile, kararsız bir uçağı kontrol etmeyi amaçlamaktadır, bu durum sonucunda da çok karmaşık ve hataya açık bir sistem ortaya çıkmaktadır. Bir diğer önemli teknik sorun ise yazılımdır. Gelişen teknolojik seviyede uçağın fonksiyonlarının büyük bir çoğunluğu yazılım sistemleri tarafından sağlanmaktadır. Bu sistemler kısaca; uçuş kontrol sistemi, aviyonik, görev (radar vb.) ve silah sistemlerinin gösterge ve kontrolleri, hava aracı sistemleri (iniş takımı, hidrolik güç, yakıt sistemi, elektrik güç sistemi vb.), motor kontrolleri ve bütünleşmiş bakım sistemleridir. Bu sistemlerden herhangi birinde uçuş anında meydana gelen bir hata uçağın kaybına sebep olabilmektedir.

Örnek olarak; İsveç devleti JAS39 Gripen uçağının geliştirme programında uçuş kontrol sistemi hataları nedeni ile 2 uçak kaybetmiştir. 1989 yılında, yere çarparak, mecburi iniş (crash landing) yapmak zorunda kalan ilk prototipin kaza sebebi olarak limitlerin

üstünde yan rüzgara maruz kalması ve uçuş kontrol sisteminin uçağı kontrol kabiliyetini kaybetmesi olarak açıklanmıştır. Programdaki ikinci kaza ise bir seri üretim uçağı ile gerçekleşmiştir. Bu kazanın sebebi olarak ise pilot komutları ve kontrol çubuğunun özellikleri birleşerek uçağın kontrol yasalarının ve kontrol yüzeylerinin limitlenmesine ve sonuç olarak uçuş kontrol sisteminin gerektiğı gibi davranamaması olarak açıklanmıştır. Yakın aralıklarla gerçekleşen bu kazaların sebeplerinin araştırılması için geniş komisyonlar kurulmuştur ve sebeplerin bulunması uzun zaman almıştır. Bu durum programın takvimini fazlaca olumsuz etkilemiştir [50].

25 Nisan 1992 tarihinde kaza geçiren F-22 Raptor uçağının prototipinin (YF-22A), 22 Ekim 1992 tarihinden açıklanan kaza raporuna göre düşme sebebi uçuş kontrol sistemindeki hatalar olarak açıklanmıştır. JAS39 Gripen programında olduğu gibi uçuş kontrol sisteminden kaynaklanan bu kaza da program takvimini olumsuz etkilemiştir [46].

F-35 JSF geliştirme programının gecikmelerinin en önemli teknik nedeni ise yazılım kaynaklıdır. Uçağın bütün fonksiyonlarının yazılım tarafından yönetilmesi çok ciddi karmaşa yaratmaktadır. Blok 2B yazılım sistemlerinde, özellikle navigasyon ve mühimmat atış sistemlerinde eksiklikler olduğu fark edilmiştir. Bu eksiklikler, mühimmat entegrasyonunu ve uçuş testlerini gecikmesine sebep olmuş ve sonuç olarak proje takvimini olumsuz etkilemiştir. Yazılım kaynaklı bir diğer gecikme sebebi ise otomatik lojistik bilgilendirme sisteminin (ALIS – The Automatic Logistics Information System) gecikmiş veya ertelenmiş kabiliyete sahip olması ve eksikliklerle uçağı yerleştirilmesidir. Bu entegrasyon işlemi takvimin gerisinde kaldığı gibi onaylanan boyut, hacim ve ağırlık sınırlarını da aşmıştır [51].

3.2.10 Hızlı ilerlemenin yol açtığı sıkıntılar

Savaş uçağı geliştirme programlarının hızlı ilerlemesi adına yapılması gereken aktivitelerin atlanması veya ardışık (seri) planlaması gereken aktivitelerin eş zamanlı yapılması sonucunda, programda hızlı ilerleme kaydedilememekte aksine yaşanan aksaklıklar sebebiyle daha fazla zamana ihtiyaç duyulmaktadır.

F-35 JSF geliştirme programında hızlı ilerleme amacıyla eş zamanlı gerçekleştirilen aktiviteler sonucunda F-35B konfigürasyonun, ağırlık problemleri sebebiyle bazı görevlerini yerine getiremeyebileceğı öngörülmüştür. Bu sebeple, yaklaşık 1500 kg'lık ağırlık azaltma çalışması yapılması gerekliliğı ortaya çıkmıştır. Lockheed Martin, 550 kişilik bir ekip

(SWAT – STOVL Weight Attack Team) kurarak ağırlık azaltma çalışmalarına başlamıştır. Çalışmalar sonucunda uçağın ağırlığı 1225 kg düşürülmüştür ama bu çalışmalar \$6,2 milyar (2006 yılı değerlerine göre) maliyet artışına ve takvimde 18 aylık bir gecikmeye sebep olmuştur [52], [53].

Tasarım donmadan ve hataları testlerle fark etmeden çok önce üretime başlamanın, yani doğru planlanmadan eş zamanlı gerçekleştirilen aktivitelerin, baştan sonra problemler yarattığını ve o noktada geri dönüp uçakları doğru tasarıma uydurmaya çalışıp üretim hattının düzeltilmiş parçalara sahip olduğundan emin olmaya çalışmanın karmaşıklığı ve maliyeti arttırdığını, JSF program yönetimi ekip lideri Korgeneral (ABD Hava Kuvvetleri) Chris Bogdan 24 Şubat 2013 tarihinde aşağıdaki sözlerle dile getirmiştir:

"A large amount of concurrency, that is, beginning production long before your design is stable and long before you've found problems in test, creates downstream issues where now you have to go back and retrofit airplanes and make sure the production line has those fixes in them. And that drives complexity and cost" [54].

Sonuç olarak; hızlı ilerlemek adına olması gereken plandan yapılan sapmaların programa daha fazla zaman kaybettirdiği görülmektedir.

3.3 Kriterlerin İkili Karşılaştırmalarının Yapılması

Faktörlerin (kriterlerin) önem ağırlıklarının belirlenmesi için Türkiye’de yer alan, savunma sanayi ve havacılık alanlarında faaliyet gösteren bir firmada, Sistem Mühendisliği bölümünde çalışan uluslararası ve milli projelerde tecrübe edinmiş konu uzmanı 11 kişiye ikili karşılaştırmaları yapabilmeleri için aşağıdaki Tablo 3.2 ve Tablo 3.3’te verilen formlar dağıtılmıştır. Karar vericilere Saaty [26] tarafından hazırlanan önem çizelgesi açıklanmış ve Expert Choice paket programına uygun olacak şekilde; satır faktörü sütun faktöründen önemli ise siyah renk ile, sütun faktörü satır faktöründen önemli ise kırmızı renk ile tam sayı değerlerini girmeleri istenmiştir.

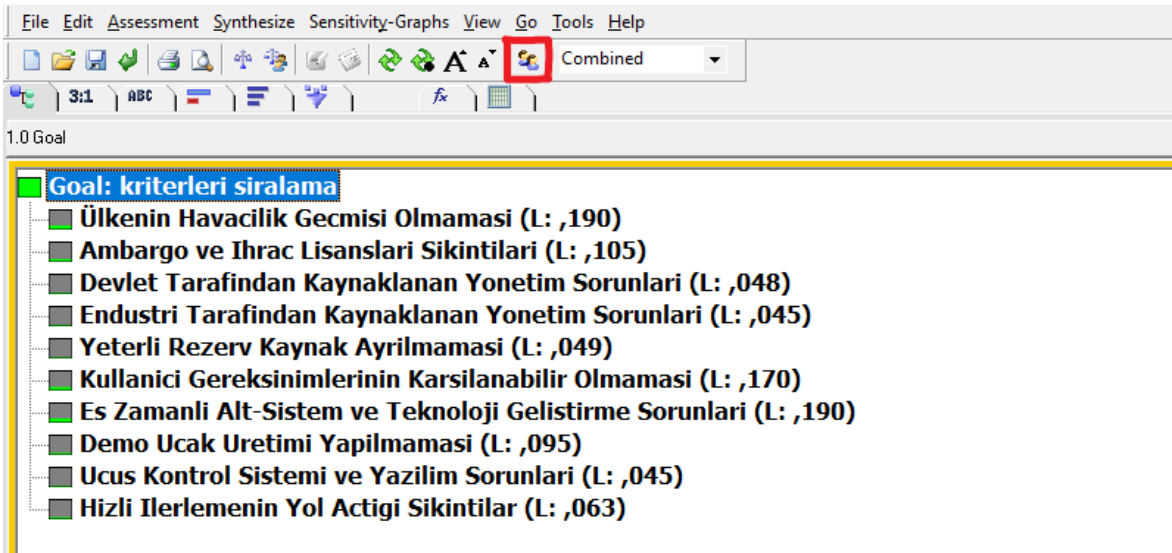
Tablo 3.2 Karar vericilere dağıtılan ikili karşılaştırma tablosu (Türkçe)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Savaş Uçağı Geliştirme Programlarını Olumsuz Olarak Etkileyen Faktörler	Ülkenin Havacılık Geçmişi Olmaması	Ambargo ve İhraç Lisansları Sıkıntıları	Devlet Tarafından Kaynaklanan Yönetim Sorunları	Endüstri Tarafından Kaynaklanan Yönetim Sorunları	Yeterli Rezerv Kaynak Ayrılmaması	Kullanıcı Gereksinimlerinin Karşılanabilir Olmaması	Eş Zamanlı Alt-Sistem ve Teknoloji Geliştirme Sorunları	Demo Uçak Üretimi Yapılmaması	Uçuş Kontrol Sistemleri ve Yazılım Sorunları	Hızlı İlerlemenin Yol Açtığı Sıkıntılar
1	Ülkenin Havacılık Geçmişi Olmaması	1									
2	Ambargo ve İhraç Lisansları Sıkıntıları		1								
3	Devlet Tarafından Kaynaklanan Yönetim Sorunları			1							
4	Endüstri Tarafından Kaynaklanan Yönetim Sorunları				1						
5	Yeterli Rezerv Kaynak Ayrılmaması					1					
6	Kullanıcı Gereksinimlerinin Karşılanabilir Olmaması						1				
7	Eş Zamanlı Alt-Sistem ve Teknoloji Geliştirme Sorunları							1			
8	Demo Uçak Üretimi Yapılmaması								1		
9	Uçuş Kontrol Sistemleri ve Yazılım Sorunları									1	
10	Hızlı İlerlemenin Yol Açtığı Sıkıntılar										1

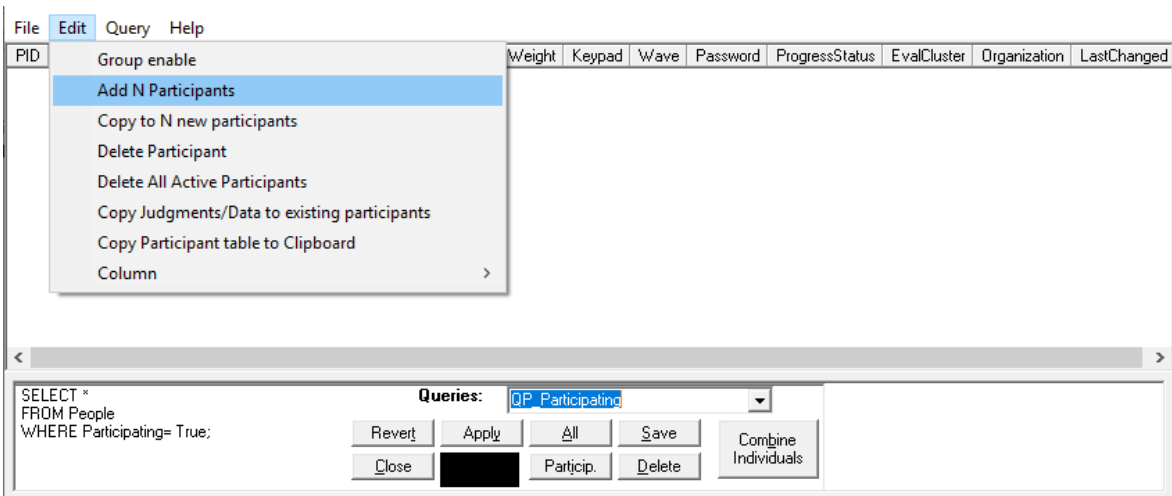
Tablo 3.3 Karar vericilere dağıtılan ikili karşılaştırma tablosu (İngilizce)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	The criteria that have a negative effect on combat aircraft development programs	Not having aerospace background in the country (lack of experienced engineers)	Problems caused by export licenses and embargo	Management problems caused by government side	Management problems caused by industry side	Not enough reserve sources (management reserve, financial reserve, etc.)	Very difficult user requirements that are hard to comply with	Problems caused by developing new sub-systems and new technologies at the same time	Not having a demonstration phase before development phase	FLCS and Software problems	Problems caused by concurrent development
1	Not having aerospace background in the country (lack of experienced engineers)	1									
2	Problems caused by export licenses and embargo		1								
3	Management problems caused by government side			1							
4	Management problems caused by industry side				1						
5	Not enough reserve sources (management reserve, financial reserve, etc.)					1					
6	Very difficult user requirements that are hard to comply with						1				
7	Problems caused by developing new sub-systems and new technologies at the same time with a/c							1			
8	Not having a demonstration phase before development phase								1		
9	FLCS and Software problems									1	
10	Problems caused by concurrent development										1

Toplam sayıları 11 olan karar vericilerin sistem mühendisliği ve havacılık endüstrisi alanındaki tecrübeleri 7-33 yıl arasında değişmektedir. Karar vericilerin her birine bir numara verilmiştir. Karar vericilerin sayısı Şekil 3.2’de kırmızı renk ile dikdörtgen içine alınan “participants” seçeneği kullanılarak açılan ekranda Şekil 3.3’te gösterildiği gibi “Edit” menüsünden “Add N Participants” komutu kullanılarak programa girilmiştir. Daha sonra karar vericilerin ikili karşılaştırma matrisleri teker teker Expert Choice paket programına girilmiş ve her birinin Tutarlılık Oranı (CR) kontrol edilmiştir (EK 1). Tutarlılık Oranı (CR) 0.10’dan büyük çıkan matrisler için karar vericilerden değerlendirmelerini yeniden gözden geçirmeleri talep edilmiş ve tekrar ikili karşılaştırma matrisini doldurmaları sağlanmıştır.



Şekil 3.2 Expert Choice paket programında çok sayıda karar verici kullanma seçeneği



Şekil 3.3 Expert Choice paket programı ile karar verici sayısını belirleme

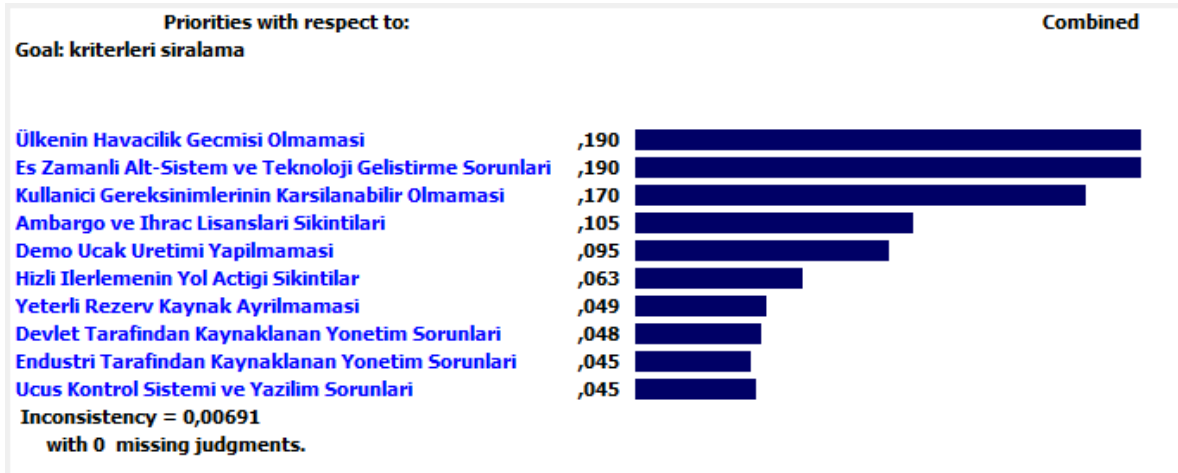
Bütün karar vericilerin Tutarlılık Oranı (CR) 0.10'dan küçük olarak sağlandığında yine Expert Choice paket programındaki "Assessment" menüsünden "Pairwise Individuals" komutu seçilmiş ve açılan penceredeki "Assessment" menüsünden "Calculate" komutu kullanılarak ikili karşılaştırmalar birleştirilmiş ve her hücrenin değerlerinin geometrik ortalamaları alınarak Şekil 3.4'te gösterildiği gibi tek bir karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Birleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisinin de Tutarlılık Oranı (CR) kontrol edilmiş ve 0.00691 olarak bulunmuştur, bu değer 0.10'dan küçük olduğu için ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğu söylenebilmektedir.

Compare the relative importance with respect to: Goal: kriterleri sıralama										
	Ülkenin Ha	Ambargo v	Devlet Tarı	Endüstri Tz	Yeterli Rez	Kullanıcı G	Es Zamanl	Demo Ucal	Uçus Kontr	Hizli İlerlei
Ülkenin Havacıl		1,73205	3,55691	4,012	3,05527	1,15665	1,26248	2,19562	4,26	3,29723
Ambargo ve İhr.			2,38976	2,60107	2,49268	1,80885	1,86313	1,01553	1,76396	1,85114
Devlet Tarafınd				1,22322	1,07616	3,19583	4,56027	2,56128	1,14453	1,33135
Endüstri Tarafı					1,11612	3,67268	4,78185	2,69552	1,19189	1,32115
Yeterli Rezerv l						3,23112	3,61947	1,98401	1,01553	1,00692
Kullanıcı Gerek							1,03631	2,23785	3,78297	2,33045
Es Zamanlı Altı								2,66727	4,50519	2,2144
Demo Uçak Üre									2,05605	1,48599
Uçus Kontrol Si										1,37973
Hizli İlerlemeni	Incon: 0,01									

Şekil 3.4 Karar vericilerin oluşturduğu ikili karşılaştırma matrislerinin değerlerinin geometrik ortalamasının alınması

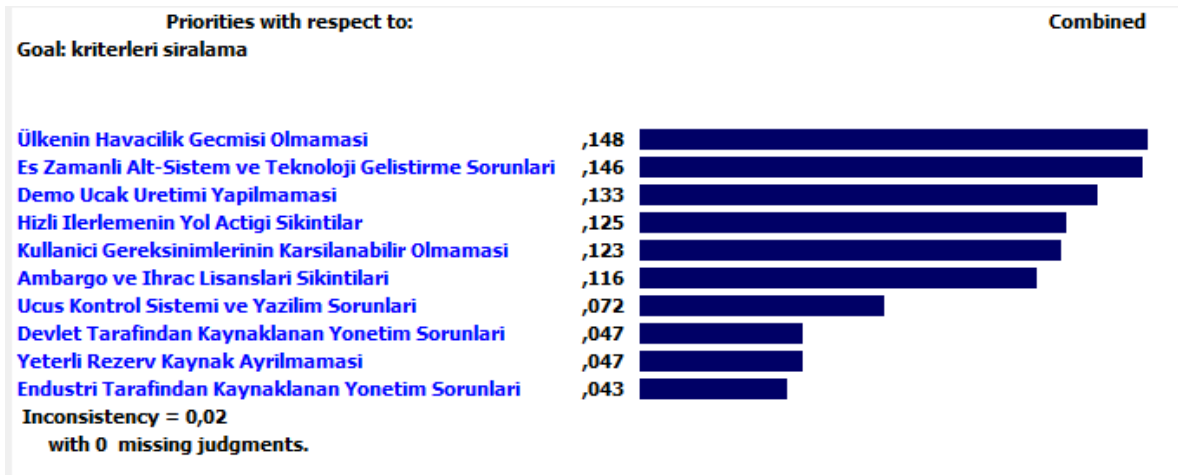
3.4 İkili Karşılaştırma Sonuçlarından Yararlanarak Kriterlerin Genel Öncelik Değerinin Belirlenmesi

Bu çalışma kapsamında bölüm 2.2'nin sonunda da belirtildiği gibi savaş uçağı geliştirme programlarına etki eden faktörlerin önem derecelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Faktörlere göre karşılaştırılan ve aralarından en optimum olanının seçileceği bir alternatif listesi bulunmamaktadır. Bu sebeple bu adımın son bölümünde alternatifleri önem ağırlıklarına göre sıralamak için kullanılan eşitlik (2.12) ve (2.13) kullanılmamıştır. Eşitlik (2.3) ve (2.11) arasındaki hesaplamalar Expert Choice paket programının yardımıyla yapılmıştır. Bütün karar vericilerin ikili karşılaştırma değerleri kullanılarak hesaplanan faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması Şekil 3.5'te görülebilmektedir.



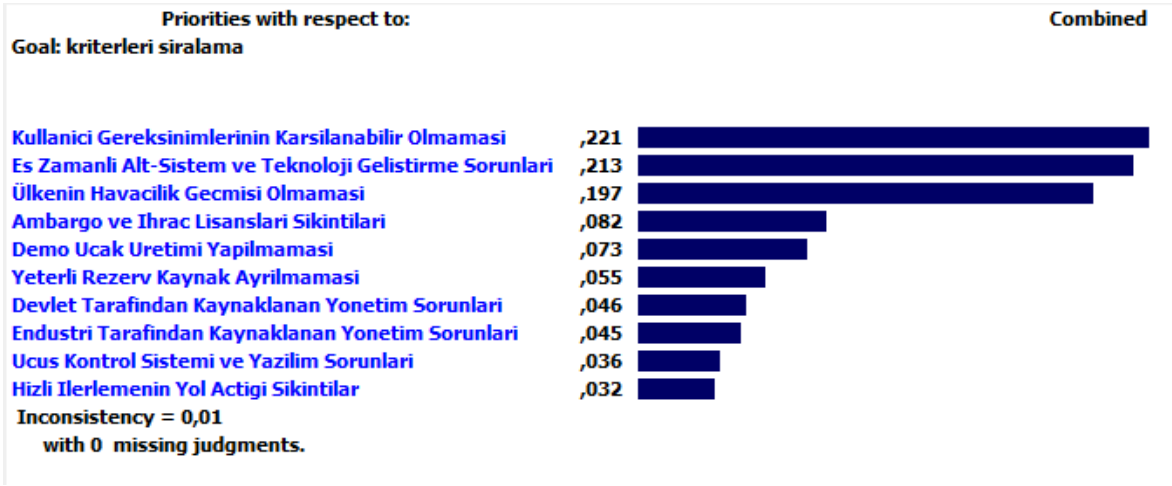
Şekil 3.5 Faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması

Expert Choice paket programının yardımıyla belirlenen ve uluslararası savaş uçağı geliştirme programlarında çalışmış ve tecrübe edinmiş karar vericilerin ikili karşılaştırma değerleri kullanılarak hesaplanan ve Tutarlılık Oranı (CR) 0.02 olan faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması Şekil 3.6’da görülebilmektedir.



Şekil 3.6 Uluslararası proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmesi ile faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması

Expert Choice paket programının yardımıyla belirlenen ve milli olarak geliştirilen savunma sanayi projelerinde çalışmış ve tecrübe edinmiş karar vericilerin ikili karşılaştırma değerleri kullanılarak hesaplanan ve Tutarlılık Oranı (CR) 0.01 olan faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması Şekil 3.7’de görülebilmektedir.



Şekil 3.7 Milli proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmesi ile faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanması

Bütün karar vericilerin ikili karşılaştırma matrisleri ile elde edilen sonuçlara bakıldığında (Şekil 3.5), savaş uçağı geliştirme programlarını olumsuz etkileyen en önemli faktörlerin 0.190'lık bir oran ile "Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları" ve "Ülkenin havacılık geçmişi olmaması" olarak belirlendiği ve sıralamada iki faktörün de aynı önem ağırlığına sahip olduğu görülmektedir. Karar vericilerin ilerleyen dönemlerde faktörlere verdiği önemin değişmesi halinde bu iki faktör üzerinde herhangi bir değişimin olup olmadığını kontrol etmek amacı ile bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Analizi gerçekleştirmek için öncelikle bir veri setine ihtiyaç duyulmaktadır. Veri setini elde etmek için her karar vericinin ikili karşılaştırma matrislerinde 0.190'lık orana sahip iki faktörü ("Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları" ve "Ülkenin havacılık geçmişi olmaması") karşılaştırdıkları hücredeki değerler; aynı yargıdaki diğer sayısal önem değerleri (3,5,7,9), eşit olduğu yargısı (1) ve karşıt yargıdaki en zayıf sayısal önem değeri (3) ile değiştirilmiştir. Her değişimden sonra CR değeri kontrol edilmiş ve değerin 0.10'dan küçük olduğu, yani değerlendirmenin tutarlı olduğu, durumlar için yeni ikili karşılaştırma matrisi diğer karar vericilerin ikili karşılaştırma matrisleri ile birlikte değerlendirilmiş (hücre değerlerinin geometrik ortalamaları alınarak) ve yeni genel öncelik değerleri elde edilmiştir. Her karar verici için 5 farklı değer ile denemeler yapılırken Karar Verici-4 ve Karar Verici-7 için 8 farklı değer ile denemeler yapılmıştır. Bunun sebebi ise karar vericilerin ikili karşılaştırma matrislerini oluştururken iki faktörün eşit önemde olduğunu değerlendirmesidir. İkili karşılaştırma matrisindeki değer 1 olduğu için her iki faktörün de birbirinden üstün olduğu bütün değerler için denemeler yapılmıştır. Aşağıda yer alan Tablo

3.4, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’de her bir karar verici için ilgili hücrenin gerçek değeri, deneme değerleri ve bu değerlere karşılık gelen CR değerleri yer almaktadır.

Tablo 3.4 Denemeler (KV1, KV2, KV3, KV4)

	KV1		KV2		KV3		KV4	
	Sayısal Değer	CR	Sayısal Değer	CR	Sayısal Değer	CR	Sayısal Değer	CR
Gerçek Değer	5	0.09	3	0.09	2	0.04	1	0.09
Deneme 1	7	0.09	5	0.10*	5	0.05	3	0.10*
Deneme 2	9	0.09	7	0.11*	7	0.06	5	0.11*
Deneme 3	3	0.09	9	0.12*	9	0.06	7	0.12*
Deneme 4	3	0.16*	3	0.10*	3	0.04	9	0.13*
Deneme 5	1	0.11*	1	0.09	1	0.03	3	0.10*
Deneme 6	-	-	-	-	-	-	5	0.11*
Deneme 7	-	-	-	-	-	-	7	0.12*
Deneme 8	-	-	-	-	-	-	9	0.13*

*CR değeri 0.10 ve üzeri olan denemeler veri setine dahil edilmemiştir.

Tablo 3.5 Denemeler (KV5, KV6, KV7, KV8)

	KV5		KV6		KV7		KV8	
	Sayısal Değer	CR	Sayısal Değer	CR	Sayısal Değer	CR	Sayısal Değer	CR
Gerçek Değer	3	0.06	3	0.09	1	0.02	3	0.09
Deneme 1	5	0.08	5	0.10*	3	0.03	5	0.10*
Deneme 2	7	0.09	7	0.10*	5	0.04	7	0.11*
Deneme 3	9	0.10*	9	0.11*	7	0.05	9	0.12*
Deneme 4	3	0.05	3	0.11*	9	0.06	3	0.09
Deneme 5	1	0.05	1	0.09	3	0.03	1	0.09
Deneme 6	-	-	-	-	5	0.04	-	-
Deneme 7	-	-	-	-	7	0.05	-	-
Deneme 8	-	-	-	-	9	0.06	-	-

*CR değeri 0.10 ve üzeri olan denemeler veri setine dahil edilmemiştir.

Tablo 3.6 Denemeler (KV9, KV10, KV11)

	KV9		KV10		KV11	
	Sayısal Değer	CR	Sayısal Değer	CR	Sayısal Değer	CR
Gerçek Değer	7	0.09	2	0.04	2	0.09
Deneme 1	5	0.09	5	0.05	5	0.09
Deneme 2	3	0.09	7	0.06	7	0.10*
Deneme 3	9	0.09	9	0.06	9	0.10*
Deneme 4	3	0.15*	3	0.05	3	0.13*
Deneme 5	1	0.10*	1	0.03	1	0.10*
Deneme 6	-	-	-	-	-	-
Deneme 7	-	-	-	-	-	-
Deneme 8	-	-	-	-	-	-

*CR değeri 0.10 ve üzeri olan denemeler veri setine dahil edilmemiştir.

Yukarıdaki Tablo 3.4, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6’de yer alan ‘Sayısal Değer’ kolonunda siyah renk ile belirtilen değerler “Ülkenin havacılık geçmişi olmaması” faktörünün “Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları” faktöründen belirtilen değer kadar daha önemli olduğunu, kırmızı renk ile belirtilen değerler ise “Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları” faktörünün “Ülkenin havacılık geçmişi olmaması” faktöründen belirtilen değer kadar daha önemli olduğunu belirtmektedir. CR değerleri 0.10 ve üzerinde olarak hesaplanan denemeler tutarsız olarak değerlendirildikleri için veri setine dahil edilmemiştir. Karar Verici-4 için yapılan bütün denemelerde CR değeri 0.10 ve üzerinde olarak hesaplandığı için bu denemelerin hiç biri veri setinde yer almamıştır. Toplamda 61 adet deneme yapılmış ancak veri setine bunlardan 33 tanesi dahil edilmiştir.

Veri setine dahil edilen denemelerin her biri için bütün karar vericilerin değerlendirmelerine göre faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralaması yinelenmiştir. Karar vericilerden tek bir önem ağırlık sıralaması elde etmek için veri setine dahil edilen denemelerin geometrik ortalamaları alınmış, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de görülebildiği gibi Karar Verici-4 hariç bütün karar vericiler için tek bir sıralama elde edilmiştir. Daha sonra AHP uygulamasında olduğu gibi, her bir faktör için denemelerden elde edilen karar vericilerin önem ağırlıklarının geometrik ortalaması alınmış ve Tablo 3.9’da görülebildiği gibi tek bir önem ağırlık sıralaması elde edilmiştir. Elde edilen bu yeni sıralama ‘Deneme’ olarak anılırken karar vericilerin değerlendirilmeleri ile yapılmış sıralama ‘Gerçek’ olarak anılmaktadır. Böylece ‘Deneme’ isimli faktör ağırlıkları, analiz için gerekli olan veri setini oluşturmuştur.

Tablo 3.7 Denemeler sonucu elde edilen önem ağırlıkları (KV1, KV2, KV3, KV5, KV6)

	KV1	KV2	KV3	KV5	KV6
1. Ülkenin havacılık geçmişi olmaması	0.1900	0.1880	0.1906	0.1890	0.1920
7. Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları	0.1900	0.1920	0.1898	0.1910	0.1880
6. Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir olmaması	0.1700	0.1700	0.1700	0.1700	0.1700
2. Ambargo ve ihraç lisansları sıkıntıları	0.1050	0.1050	0.1050	0.1050	0.1050
8. Demo uçak üretimi yapılmaması	0.0950	0.0950	0.0950	0.0950	0.0950
10. Hızlı ilerlemenin yol açtığı sıkıntılar	0.0630	0.0630	0.0630	0.0630	0.0630
5. Yeterli rezerv kaynak ayrılmasa	0.0490	0.0490	0.0490	0.0490	0.0490
3. Devlet tarafından kaynaklanan yönetim sorunları	0.0480	0.0480	0.0480	0.0480	0.0480
4. Endüstri tarafından kaynaklanan yönetim sorunları	0.0450	0.0450	0.0446	0.0450	0.0450
9. Uçuş kontrol sistemi ve yazılım sorunları	0.0450	0.0450	0.0450	0.0450	0.0440

Tablo 3.8 Denemeler sonucu elde edilen önem ağırlıkları (KV7, KV8, KV9, KV10, KV11)

	KV7	KV8	KV9	KV10	KV11
1. Ülkenin havacılık geçmişi olmaması	0.1902	0.1865	0.1907	0.1906	0.1920
7. Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları	0.1904	0.1930	0.1900	0.1898	0.1890
6. Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir olmaması	0.1697	0.1700	0.1700	0.1700	0.1700
2. Ambargo ve ihraç lisansları sıkıntıları	0.1049	0.1050	0.1050	0.1050	0.1050
8. Demo uçak üretimi yapılmaması	0.0950	0.0950	0.0950	0.0950	0.0950
10. Hızlı ilerlemenin yol açtığı sıkıntılar	0.0556	0.0630	0.0630	0.0630	0.0630
5. Yeterli rezerv kaynak ayrılmasa	0.0490	0.0490	0.0490	0.0490	0.0490
3. Devlet tarafından kaynaklanan yönetim sorunları	0.0480	0.0480	0.0480	0.0480	0.0480
4. Endüstri tarafından kaynaklanan yönetim sorunları	0.0445	0.0450	0.0450	0.0446	0.0450
9. Uçuş kontrol sistemi ve yazılım sorunları	0.0450	0.0450	0.0450	0.0450	0.0450

Tablo 3.9 Faktörlerin önem ağırlıkları (Gerçek ve Deneme)

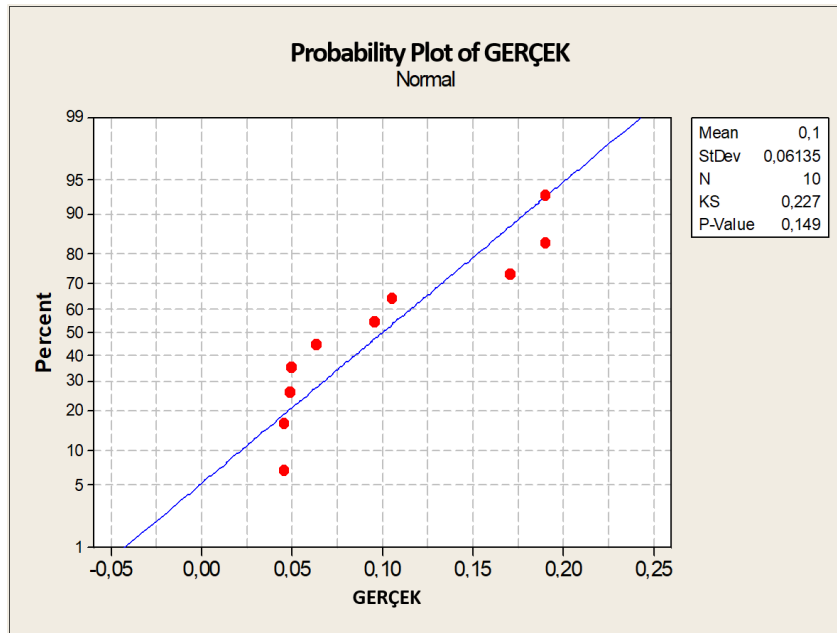
	Gerçek	Deneme
1. Ülkenin havacılık geçmişi olmaması	0.1900	0.1899
7. Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları	0.1900	0.1903
6. Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir olmaması	0.1700	0.1700
2. Ambargo ve ihraç lisansları sıkıntıları	0.1050	0.1050
8. Demo uçak üretimi yapılmaması	0.0950	0.0950
10. Hızlı ilerlemenin yol açtığı sıkıntılar	0.0630	0.0622
5. Yeterli rezerv kaynak ayrılmasa	0.0490	0.0490
3. Devlet tarafından kaynaklanan yönetim sorunları	0.0480	0.0480
4. Endüstri tarafından kaynaklanan yönetim sorunları	0.0450	0.0449
9. Uçuş kontrol sistemi ve yazılım sorunları	0.0450	0.0449

Analizi gerçekleştirmek ve bu veri seti üzerinde parametrik test uygulayabilmek için veri setinin normallik koşulunu sağlaması gerekmektedir. Bunun için Minitab paket programından faydalanarak normallik kontrolü yapılmıştır. Her iki set için de aşağıdaki iki hipotez test edilmiştir:

H_0 : Veriler normal dağılıma uygundur.

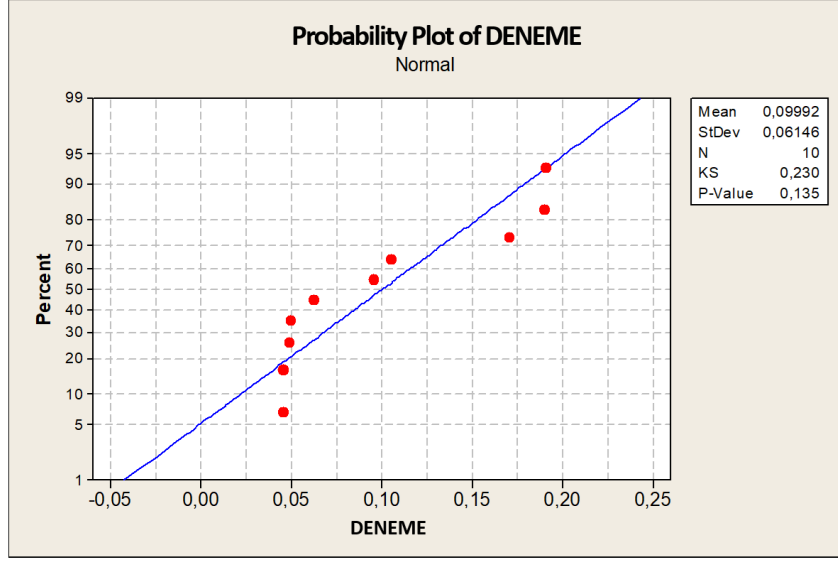
H_1 : Veriler normal dağılıma uygun değildir.

‘Gerçek’ veriler için yapılan normallik testinin sonucunda Şekil 3.8’de görülebildiği gibi P-değeri 0.149 olarak bulunmuştur ve bu değer 0.05 olan α değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezinin reddedilemediği ve verilerin normal dağılıma uygun olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 3.8 Gerçek değerler için normallik testi

‘Deneme’ veriler için yapılan normallik testinin Şekil 3.9’da görülebildiği gibi P-değeri 0.135 olarak bulunmuştur ve bu değer 0.05 olan α değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezinin reddedilemediği ve verilerin normal dağılıma uygun olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 3.9 Deneme değerler için normallik testi

Veri seti normallik koşulunu sağladığı yani normal dağılıma uygun olduğu için parametrik test uygulanmasına karar verilmiştir. İki veri seti arasında ortalama fark kontrolünün yapılabilmesi için öncelikle varyans kontrolünün yapılması gerekmektedir. Varyans kontrolü için F testi uygulanmıştır.

H_0 : İki veri setinin varyansları birbirine eşittir ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2$).

H_1 : İki veri setinin varyansları birbirine eşit değildir ($\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$).

Şekil 3.10’da görülebildiği gibi P-değeri 0.996 olarak bulunmuştur ve bu değer 0.05 olan α değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezinin reddedilemediği ve iki veri setinin varyanslarının birbirine eşit olduğu söylenebilmektedir.

Test for Equal Variances: GERÇEK; DENEME

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

	N	Lower	StDev	Upper
GERÇEK	10	0,0401302	0,0613496	0,123537
DENEME	10	0,0402000	0,0614563	0,123752

F-Test (normal distribution)

Test statistic = 1,00; p-value = 0,996

Levene's Test (any continuous distribution)

Test statistic = 0,00; p-value = 0,995

Şekil 3.10 F testi sonuçları

İki veri setinin varyanslarının birbirine eşit olduğu varsayımı altında ortalama fark kontrolü için T testi uygulanmıştır.

H_0 : İki veri setinin ortalamaları birbirine eşittir ($\mu_1 = \mu_2$).

H_1 : İki veri setinin ortalamaları birbirine eşit değildir ($\mu_1 \neq \mu_2$).

Two-Sample T-Test and CI: GERÇEK; DENEME

Two-sample T for GERÇEK vs DENEME

	N	Mean	StDev	SE Mean
GERÇEK	10	0,1000	0,0613	0,019
DENEME	10	0,0999	0,0615	0,019

Difference = mu (GERÇEK) - mu (DENEME)

Estimate for difference: 0,000080

95% CI for difference: (-0,057612; 0,057772)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0,00 P-Value = 0,998 DF = 18

Both use Pooled StDev = 0,0614

Şekil 3.11 T testi sonuçları

T tesine göre P-değeri 0.998 olarak bulunmuştur ve bu değer 0.05 olan α değerinden büyük olduğu için H_0 hipotezinin reddedilemediği ve iki veri setinin ortalamaları arasında 0.05 anlamlılık düzeyinde bir fark olmadığı söylenebilmektedir (Şekil 3.11).

İki veri setinin ortalamaları arasında anlamlı bir fark olmaması denemeler sonucu elde edilen yeni önem ağırlıklarının faktörleri sıralamak için kullanılabileceğini göstermektedir. Gerçek veriler ile elde edilen sıralamada en önemli iki faktör 0.190 oranı ile ilk sırayı paylaşıırken, denemeler sonucu elde edilen sıralamada “Eş Zamanlı Alt-Sistem ve Teknoloji Geliştirme Sorunları” isimli faktör 0.1903 oranı ile ilk sırada yer almış ve “Ülkenin Havacılık Geçmişi Olmaması” isimli faktör 0.1899 oranı ile ikinci sırada yer almıştır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde uygulamanın sonucunda elde edilen çıktılar verilmiş ve faktörlerin aldıkları önem ağırlıkları önce bütün karar vericilerin değerlendirmelerine göre sonra da uluslararası ve milli proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre ayrı ayrı açıklanmıştır. Ek olarak, savaş uçağı geliştirme programları gibi karmaşık projelerde bu faktörlerin olumsuz etkilerini azaltmak için alınması gereken önlemler açıklanmış ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

4.1 Sonuçlar

Yapılan çalışma neticesinde bölüm 3.4’de yapılan analiz sonucu elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde (Tablo 3.9), savaş uçağı geliştirme programlarını olumsuz etkileyen en önemli faktörün 0.1903’lük bir oran ile “Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları” olduğu görülebilmektedir. En önemli ikinci faktörün ise 0.1899’luk bir oran ile “Ülkenin havacılık geçmişi olmaması” olduğu söylenebilmektedir. En çok ağırlığa sahip üçüncü faktör ise 0.1700’lik bir oran ile “Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir olmaması”dır. “Ambargo ve ihraç lisansları sıkıntıları” isimli faktör ise 0.1050’lik bir oranla dördüncü sırada yer alırken “Demo uçak üretimi yapılmaması” isimli faktör 0.0950 oranı ile beşinci sırada yer almaktadır. Bu noktadan sonra faktörlerin önem ağırlıkları hızlı bir şekilde düşmeye başlamıştır. Altıncı sıradaki faktör 0.0622 oranı ile “Hızlı ilerlemenin yol açtığı sıkıntılar” olarak belirlenmiştir. “Yeterli rezerv kaynak ayrılmaması” faktörü 0.0490 oranı ile yedinci sırada yer alırken 0.0480 oranı ile “Devlet tarafından kaynaklanan yönetim sorunları” faktörü sekizinci sırada yer almıştır. Savaş uçağı geliştirme programlarını olumsuz olarak en az etkileyen faktörler ise 0.0449 oranı ile “Uçuş kontrol sistemi ve yazılım sorunları” ile “Endüstri tarafından kaynaklanan yönetim sorunları” olmuştur.

Uluslararası savaş uçağı geliştirme programlarında çalışmış ve tecrübe edinmiş 5 karar vericinin ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde ise en önemli iki faktörün değişmediği görülmüştür. “Ülkenin havacılık geçmişi olmaması” faktörü 0.148 oranı ile savaş uçağı geliştirme programlarını olumsuz etkileyen en önemli faktör olarak belirlenmiş ve “Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları” faktörü 0.146 oranı ile faktörlerin önem ağırlığı sıralamasında ikinci sırada yer almıştır. “Demo uçak üretimi yapılmaması” isimli faktör 0.133 oranı ile üçüncü sırada yer almıştır. Dördüncü

sıradaki faktör 0.125 oranı ile “Hızlı ilerlemenin yol açtığı sıkıntılar” olarak belirlenirken 0.123 oranı ile “Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir olmaması” faktörü beşinci sırada yer almıştır. “Ambargo ve ihraç lisansları sıkıntıları” faktörü 0.116 oranı ile altıncı en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Yedinci sırada yer alan “Uçuş kontrol sistemi ve yazılım sorunları” faktörü 0.072 oranına sahiptir. Savaş uçağı geliştirme programlarını olumsuz etkileyen faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanmasında en az ağırlığı ise 0.047 oranına sahip “Devlet tarafından kaynaklanan yönetim sorunları” ve “Yeterli rezerv kaynak ayrılmaması” faktörleri ile 0.043 oranına sahip “Endüstri tarafından kaynaklanan yönetim sorunları” faktörü olmuştur.

Çalışmada son olarak milli olarak geliştirilen savunma sanayi projelerinde çalışmış ve tecrübe edinmiş 6 karar vericinin ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. “Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir olmaması” faktörü 0.221 oranı ile savaş uçağı geliştirme programlarını olumsuz etkileyen en önemli faktör olarak belirlenmiştir. İkinci sırada ise 0.213 oranı ile “Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları” faktörü yer almıştır. “Ülkenin havacılık geçmişi olmaması” faktörü 0.197 oranı ile üçüncü sırada yer almıştır. İlk üç sırada yer alan faktörlerin önem ağırlık oranlarının diğer sıralamalara göre daha yüksek oranlara sahip oldukları için bu üç faktörün savaş uçağı geliştirme programlarına olumsuz etki eden başlıca faktörler olarak değerlendirildikleri söylenebilmektedir. Bu noktadan sonra faktörlerin önem ağırlık oranları azalmaktadır. Dördüncü sırada “Ambargo ve ihraç lisansları sıkıntıları” faktörü 0.082 oranı ile yer almıştır. 0.073 oranı ile “Demo uçak üretimi yapılmaması” isimli faktör beşinci en önemli faktör olarak belirlenmiştir. Altıncı sırada yer alan “Yeterli rezerv kaynak ayrılmaması” faktörü 0.055 oranına sahipken yedinci ve sekizinci sırada yer alan “Devlet tarafından kaynaklanan yönetim sorunları” ve “Endüstri tarafından kaynaklanan yönetim sorunları” sırası ile 0.046 ve 0.045 oranına sahip olarak belirlenmiştir. Faktörlerin önem ağırlıklarına göre sıralanmasında en az etkiye sahip olduğu değerlendirilen faktörler 0.036 oranı ile “Uçuş kontrol sistemi ve yazılım sorunları” ve 0.032 oranı ile “Hızlı ilerlemenin yol açtığı sıkıntılar” olmuştur.

4.2 Öneriler

Yapılan çalışma sonucunda en büyük ağırlığa sahip ve en önemli faktör “Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunları” olarak belirlenmiştir. Aynı faktör uluslararası ve milli proje tecrübelerine sahip karar vericilerin ayrı ayrı değerlendirmelerine göre de en önemli ağırlığa sahip ikinci faktör olarak belirlenmiştir. Bu faktörün olumsuz etkisinden kaçınmak için sıfırdan bir savaş uçağını geliştirmeye, yeterli teknolojik olgunluğa sahip ve hazır bulunan alt sistemler ile başlanmalı ve teknoloji ilerledikçe aşamalı geliştirme ile devam edilmelidir. Savaş uçağı, ana fonksiyonlarını yerine getirebilir seviyeye geldiğinde yeni teknoloji alt sistemlerin entegrasyonu için çalışılmalıdır. Bu sayede eş zamanlı teknoloji geliştirmenin sebep olacağı sorunlar önlenabilmektedir.

En büyük ağırlığa sahip ikinci faktör ise “Ülkenin havacılık geçmişi olmaması” olarak belirlenmiştir. Aynı faktör uluslararası proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre ilk sırada yer alırken, milli proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre üçüncü sırada ancak diğer faktörlere göre yüksek bir oran ile yer almıştır. Daha önce kendi savaş uçağını geliştirmemiş ya da ortak bir geliştirme programı içinde bulunmamış bir ülkede, kazanılmış bir tecrübe olmadığı için programlara ulaşılabilir hedefler ile başlanmalı ve yeterli tecrübe edinildiğinde hedefler yükseltilmelidir. Geliştirme sürecine planlı ve tedbirli olarak devam edilmelidir. Mümkün ise geliştirme programı başlatılmadan önce, tecrübe kazanımı için ortak geliştirme programlarına dahil olunmalı ya da danışmanlık hizmeti alınmalıdır. Bu sayede tecrübe eksikliğinden kaynaklanan sorunların olumsuz etkisi azaltılabilmekte hatta karşılaşılabilecek sorunlar önlenabilmektedir.

En büyük ağırlığa sahip üçüncü faktör “Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir olmaması” olarak belirlenmiştir. Aynı faktör uluslararası proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre beşinci sırada yer almıştır. Yapılan araştırmalara dayanarak uluslararası projelerde ihtiyaç ve gereksinimlerin çoğunlukla net bir şekilde belirlendiği ve son ürünün bu ihtiyaçları karşılayacak şekilde oluşturulmasına olanak verildiği söylenebilmektedir. Örneğin, ihtiyaç bir avcı uçağı ise gereksinimler manevra kabiliyeti ve hava üstünlüğü konusunda yoğunlaşırken, bombardıman uçağının ihtiyaç olduğu durumda ise gereksinimler çoğunlukla uzun menzil ve dahili silah yuvası üzerine yoğunlaşmaktadır. Milli proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre ise aynı faktör çok yüksek bir önem ağırlık oranı ile ilk sırada yer almaktadır. Bunun nedeni ise, milli olarak geliştirilen fazla sayıda hava aracının olmaması ve yeni bir milli proje başlatılırken tek bir ürün ile birden fazla ihtiyacın karşılanmasının talep edilmesi ve bu

durumun sonucu olarak gereksinimlerin farklı alanlar üzerine yoğunlaşması olarak yorumlanabilmektedir. Bu faktörün olumsuz etkilerinin önüne geçebilmek için müşteri ya da son kullanıcı isterlerinin ihtiyaç doğrultusunda net bir şekilde tanımlanması ve ulaşılabilir hedeflere sahip olması gerekmektedir.

En büyük ağırlığa sahip dördüncü faktör “Ambargo ve ihraç lisansları sıkıntıları” olarak belirlenmiştir. Aynı faktör uluslararası proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre altıncı sırada, milli proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre ise dördüncü sırada yer almıştır. Aynı ayrı yapılan değerlendirmelerin sıralamasında aşağılarda olmasına rağmen ağırlık oranı yüksek olduğu için genel değerlendirmede üçüncü sıraya yükselmiştir. Ülkelerin içinde bulunduğu politik düzen dikkate alınarak, dışarıdan tedarik edilmesi planlanan her alt-sistem, malzeme ve hizmet için yedek plan yapılmalıdır. Yedek plan olarak ülke içinde alternatif bir çözüm bulunamıyorsa, ambargoların çoğunlukla belirli bir konsorsiyumun tüm üyeleri tarafından uygulandığı göz önünde bulundurulmalı ve yedek planlar konsorsiyumun dışında kalan ülkeler önceliklendirilerek yapılmalıdır.

En büyük ağırlığa sahip beşinci faktör “Demo uçak üretimi yapılmaması” olarak belirlenmiştir. Aynı faktör uluslararası proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre üçüncü sırada, milli proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre ise beşinci sırada yer almıştır. Uluslararası projelerde özellikle ABD tarafından başlatılan projelerde, demo uçakların üretildiği konsept gösterim fazı çok yaygındır. Demo uçaklar sayesinde proje boyunca karşılaşılması muhtemel teknik sorunlar, proje resmi olarak başlamadan tespit edilebilmekte ve çözüme kavuşturulabilmektedir. Ayrıca konsept gösterim fazı birden fazla firma arasında bir rekabet ortamı oluşturduğundan çalışmaların daha iyiye gitmesini sağlamaktadır. Demo uçak üretimi yapılmayan projelerde ise, teknik sorunlar projenin başında değil de ilerleyen safhalarında fark edilebilmekte ve çözümlenmesi için fazlaca zaman kaybına sebep olabilmektedir.

En büyük ağırlığa sahip altıncı faktör “Hızlı ilerlemenin yol açtığı sıkıntılar” olarak belirlenmiştir. Aynı faktör uluslararası proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre dördüncü sırada, milli proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre ise son sırada yer almıştır. Milli olarak geliştirilen projelerde bu faktör henüz çok büyük gecikmelere sebep olmadığı için önem sıralamasında aşağılarda yer almıştır. Ancak bölüm 3.2.10’de verilen F-35 JSF örneği çok çarpıcı bir örnektir. Benzer sıkıntıları yaşamamak için olması gereken plandan sapılmamalıdır. Süreci kısaltmak için

ardışık yapılması gereken faaliyetleri eş zamanlı gerçekleştirmek sürecin uzamasına ve faaliyetlerde tekrara sebep olabilmektedir.

En büyük ağırlığa sahip yedinci faktör “Yeterli rezerv kaynak ayrılmaması” olarak belirlenmiştir. Aynı faktör uluslararası proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre dokuzuncu sırada, milli proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre ise altıncı sırada yer almıştır. Sıralamada farklılıklar olsa da her üç değerlendirmede de verilen önem ağırlıkları birbirine çok yakındır. Yeterli rezerv kaynak ayrılması projenin ilerleyen süreçlerinde ortaya çıkan problemlerden kaynaklanan gecikmelerin ve maliyet artışlarının önüne geçmeye yardımcı olmaktadır. Ambargo ve ihraç lisanslarından kaynaklanan sıkıntıların ya da teknik sorunlar gibi öngörülemeyen problemlerin sebep olacağı aksaklıkların çözümünde rezerv kaynaklar önemli rol oynamaktadır.

En büyük ağırlığa sahip sekizinci faktör “Devlet tarafından kaynaklanan yönetim sorunları” olarak belirlenmiştir. Aynı faktör uluslararası proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre sekizinci sırada, milli proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre ise yedinci sırada yer almıştır. İlgili faktör için her üç değerlendirmede de hem sıralama hem de önem ağırlık oranları birbirine çok yakındır. Diğer faktörlere göre etkisinin az olduğu değerlendirilse de benzer problemlerin yaşanmaması için devlet tarafında net bir organizasyon ve sorumluluk yapısı oluşturulmalı ve yetki sahibi kişilerin projeye tam zamanlı katılımı ile istikrar sağlanmalıdır.

Eşit ve en az önem ağırlık oranına sahip olan iki faktör “Uçuş kontrol sistemi ve yazılım sorunları” ile “Endüstri tarafından kaynaklanan yönetim sorunları” olarak belirlenmiştir. Aynı faktörler uluslararası proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre (sırası ile) yedinci ve onuncu sırada, milli proje tecrübesine sahip karar vericilerin değerlendirmelerine göre ise (sırası ile) dokuzuncu ve sekizinci sırada yer almıştır. Alt sistemlerden kaynaklanan teknik problemleri kolayca çözebilmek için yedek planlar ya da rezerv kaynaklar gerekmektedir. Projeye ayrılan rezerv kaynak doğru öngörülmüş ise insan gücünün ya da faaliyetlerin yeniden planlanması ile karşılaşılan teknik problemlerin programa olan olumsuz etkisi en aza indirebilmektedir. Endüstri tarafından kaynaklanan yönetim sorunları ise çoğunlukla çok ortaklı geliştirilen programlarda karşılaşıldığı için yetki ve sorumlulukların net bir şekilde tanımlanması ve son karar yetkisine sahip tek bir firma ana sorumlu olması (Single Point of Accountability) gerekmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda savaş uçağı geliştirme programlarına olumsuz etkisi en büyük olan faktörler ve bu faktörlerin etkilerini azaltmak için proje yöneticileri tarafından yapılması gerekenler aşağıda kısaca verilmiştir:

1. Eş zamanlı alt-sistem ve teknoloji geliştirme sorunlarının etkilerini azaltmak için sistemi geliştirmeye kendini kanıtlamış güvenilir alt sistemler ile başlanmalı ve ana sistem (savaş uçağı) birincil fonksiyonlarını yerine getirebilir olduğunda yeni sistemlerin geliştirilmesi aşamalı olarak yapılmalıdır.
2. Ülkenin havacılık geçmişi olmamasının yaratacağı olumsuz etkileri azaltmak için öncelikle bir ortak geliştirme programına dahil olunmalı ya da danışmanlık hizmeti alınmalı ve hedefler ulaşılabilir olmalıdır.
3. Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanabilir olmamasından kaynaklanan sorunların önüne geçebilmek için ihtiyacın net bir şekilde belirlenmesi ve gereksinimlerin ihtiyacı tam olarak karşılayacak şekilde tanımlanması gerekmektedir.
4. Ambargo ve ihraç lisansları sıkıntılarının etkilerini azaltmak için yedek planlar yapılmalı ve rezerv kaynaklar projenin taşıdığı risk ile orantılı olarak belirlenmelidir.

Savaş uçağı geliştirme programlarını olumsuz etkileyen faktörlerin ve önem ağırlıklarının AHP yöntemi ile belirlendiği bu çalışma, yürütülmekte olan ya da yeni başlayacak olan projelere yol gösterici niteliktedir. Geliştirme programına başlamadan önce karşılaşılabilecek sorunları öngörmenin ve gerekli önlemleri almanın proje süreçlerini iyileştirmeye yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, savaş uçağı geliştirme programlarını olumsuz etkileyen faktörler farklı uzmanlık alanlarına sahip karar vericiler tarafından değerlendirilebilir. Bu sayede farklı uzmanlık alanlarına göre faktörlerin aldığı önem ağırlıkları daha kapsamlı bir şekilde karşılaştırılabilir. Bunun yanında, gelecekte yapılacak çalışmalarda alt sistemlerin geliştirme süreçlerini olumsuz etkileyen faktörler önem ağırlıklarına göre sıralanabilir. Böylece alt sistemler seviyesinde karşılaşılabilecek sorunlar ve alınması gereken önlemler belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] D. Ş. Polat, "Askeri Helikopter Alımı Problemine Analitik Hiyerarşi Metodu ile Bir Yaklaşım," Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2000.
- [2] C. Turğut, "Taarruz Helikopteri ile Tankların Muharebe Etkinliklerinin AHP ile Karşılaştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2001.
- [3] S. Çelikyay, "Çok Amaçlı Savaş Uçağı Seçiminde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanması," Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [4] A. H. Öz, "Yük Helikopteri Seçiminde Bulanık Çok Amaçlı Karar Verme Modeli," Doktora Tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [5] T. C. Wang and T. H. Chang, "Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment," *Expert Systems with Applications*, vol. 33, pp. 870-880, 2007, Doi:10.1016/j.eswa.2006.07.003.
- [6] İ. Özge, "İç Güvenlikte Kullanılacak İnsansız Hava Aracı Seçiminde Analitik Hiyerarşi Metodunun Kullanılması," Yüksek Lisans Tezi, İşletme Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2008.
- [7] H. Yürekli, "Taarruz Helikopterleri Seçiminde ELECTRE Yönteminin Kullanılması," Doktora Tezi, İşletme Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [8] O. Čokorilo, S. Gvozdenović, P. Miroslavljević and L. Vasov, "Multi Attribute Decision Making: Assessing the Technological and Operational Parameters of an Aircraft," *Transport*, vol. 25, no. 4, pp. 352-356, 2010, Doi: 10.3846/transport.2010.43.

- [9] X. Sun, V. Gollnick ve E. Stumpf, "Robustness Consideration in Multi-Criteria Decision Making to an Aircraft Selection Problem," *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, cilt 18, pp. 55-64, 2011, Doi: 10.1002/mcda.471.
- [10] G. Tüysüz, "Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Savaş Uçağı Seçimi," Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2014.
- [11] S. Dožić and M. Kalić, "An AHP approach to aircraft selection process," in *17th Meeting of the EURO Working Group on Transportation*, Sevilla, 2014, Doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.102.
- [12] J. Sanchez-Lozano, J. Serna and A. Dolon-Payan, "Evaluating military training aircrafts through the combination of multi-criteria decision making processes with fuzzy logic. A case study in the Spanish Air Force Academy," *Aerospace Science and Technology*, cilt 42, pp. 58-65, 2015, Doi: 10.1016/j.ast.2014.12.028.
- [13] L. E. Teoh and H. L. Khoo, "Airline Strategic Fleet Planning Framework," *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, cilt 11, pp. 2258-2276, 2015.
- [14] S. Dožić and M. Kalić, "Comparison of two MCDM methodologies in aircraft type selection," in *18th Euro Working Group on Transportation*, Delft, 2015, Doi: 10.1016/j.trpro.2015.09.044.
- [15] G. Bruno, E. Esposito and A. Genovese, "A model for aircraft evaluation to support strategic decisions," *Expert Systems with Applications*, vol. 42, no. 13, pp. 5580-5590, 2015, Doi: 10.1016/j.eswa.2015.02.054.
- [16] S. Yılmaz, "Uçak Seçim Kriterlerinin Değerlendirilmesinde AHP ve Bulanık AHP Uygulaması," Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [17] A. Göleç, F. Gürbüz ve E. Şenyiğit, "Determination of Best Military Cargo Aircraft with Multi-criteria Decision-Making Techniques," *MANAS Journal of Social Studies*, cilt 5, no. 5, pp. 87-101, 2016, ISSN: 1624-7215.

- [18] S. Ulucan, "Gri Tabanlı İnsansız Hava Aracı Seçimi," Yüksek Lisans Tezi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2016.
- [19] M. Ayar, "Temel Eğitim Uçakları için Performans ve İşletme Karakteristiklerinin Etüdü," Yüksek Lisans Tezi, Pilotaj Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2017.
- [20] K. Kiracı ve M. Bakır, "Application of Commercial Aircraft Selection in Aviation Industry Through Multi-Criteria Decision Making Methods," *MCBÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, cilt 16, no. 4, pp. 307-332, 2018, Doi: 10.18026/cbayarsos.505987.
- [21] M. Aksoyek, "Havayolu Taşımacılığında Uzun Menzilli Düşük Maliyetli Taşıyıcılarda Uçak ve Hat Seçimi," Yüksek Lisans Tezi, Sivil Havacılık Yönetimi Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2018.
- [22] E. S. Gökpınar, "Ülkemizde Savunma Sanayii Alanında Araştırma ve Geliştirmeye Dayalı Tedarik Süreç Modeli Oluşturulması," Yüksek Lisans Tezi, İşletme Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2003.
- [23] H. Gürkan, "Hava Kuvvetlerinin Ana Savunma Sistem Tedarikinde Proje Yönetimi," Doktora Tezi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [24] T. L. Saaty and M. P. Niemira, "A Framework for Making a Better Decision," *Research Review*, cilt 13, no. 1, pp. 1-4, 2006.
- [25] T. L. Saaty, "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process," *European Journal of Operational Research*, cilt 48, pp. 9-26, 1990.
- [26] T. L. Saaty, "Decision making with the analytic hierarchy process," *Int. J. Services Sciences*, cilt 1, no. 1, pp. 83-98, 2008.
- [27] K. Yaraloğlu, "Analitik Hiyerarşi Proses," *Ders Notları*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, 2005.

- [28] İ. Güngör ve D. B. İşler, "Analitik Hiyerarşi Yaklaşımı ile Otomobil Seçimi," *ZKÜ Sosyal Bilimler Dergisi*, cilt 1, no. 2, pp. 21-33, 2005.
- [29] Jane's by IHS Markit, "HAL Tejas," *Jane's All the World's Aircraft*, 2019.
- [30] "Delay in Tejas LCA Project," Press Information Bureau, Government of India, Ministry of Defence, 2015.
- [31] Jane's by IHS Markit, "PAC JF-17 Thunder," *Jane's All the World's Aircraft*, 2019.
- [32] "CAC - PAC FC-1 / JF-17," [Online]. Available: pakdef.org/cac-pac-fc-1-jf-17/. [Accessed 5 10 2019].
- [33] J. Miller, *Lockheed F-117 Stealth Fighter*, Arlington: Aerofax, 1990.
- [34] J. Lake, *Jane's how to fly and fight in the F-117A stealth fighter*, London: HarperCollinsPublishers, 1997.
- [35] Jane's by IHS Markit, "GTRE Kaveri," *Jane's Aero-Engines*, 2018.
- [36] Sinox, "The chronological history of the J-10 programme - China Defence Today," 2 12 2013. [Online]. Available: <https://snodefence.wordpress.com/2013/12/02/the-history-of-j-10/>. [Accessed 5 10 2019].
- [37] J. Gertler, "F-35 Joint Strike Fighter (JSF) Program," *Congressional Research Service*, 2018.
- [38] A. Morse, "Ministry of Defence - Management of the Typhoon Project," *National Audit Office*, London, 2011.
- [39] Jane's by IHS Markit, "Sukhoi Su-35," *Jane's All the World's Aircraft*, 2019.
- [40] O. Younossi, D. E. Stem, M. A. Lorell ve F. M. Lussier, "Lessons Learned from the F/A-22 and F/A-18E/F Development Programs," *RAND Corporation*, Arlington, 2005.

- [41] Jane's by IHS Markit, "Lockheed Martin F-22 Raptor," *Jane's All the World's Aircraft*, 2019.
- [42] J. D. Bottelson, "Requirements and Cost Stability: A Case Study of the F/A-18 Hornet Program," Defence Acquisition University, Washington, 2010.
- [43] J. Gertler, "F-35 Alternate Engine Program: Background and Issues for Congress," *Congressional Research Service*, 2012.
- [44] A. Chopra, "LCA Tejas: The Never Ending Wait!," *Indian Defence Review*, 2016.
- [45] Jane's by IHS Markit, "Boeing F/A-18 Super Hornet," *Jane's All the World's Aircraft*, 2019.
- [46] J. Miller, *Lockheed Martin F/A-22 Raptor: Stealth Fighter*, Hinckley: Aerofax, 2005.
- [47] Jane's by IHS Markit, "Lockheed Martin F-35 Lightning II," *Jane's All the World's Aircraft*, 2019.
- [48] Jane's by IHS Markit, "Boeing (McDonnell Douglas) F/A-18 Hornet," *Jane's Aircraft Upgrades*, 2019.
- [49] BAE Systems, "Experimental Aircraft Programme | BAE Systems | United Kingdom," BAE Systems, [Online]. Available: <https://www.baesystems.com/en-uk/feature/eap>. [Accessed 5 10 2019].
- [50] G. Keijsper, *Saab Gripen-Sweden's 21st Century Multirole Aircraft*, Specialty Press, 2004.
- [51] J. Bender, "Pentagon: Here are all the problems with the F-35 – Business Insider," 20 3 2015. [Online]. Available: <https://www.businessinsider.com/here-are-all-the-problems-with-the-f-35-that-the-pentagon-found-in-a-2014-report-2015-3>. [Accessed 5 10 2019].
- [52] D. A. Fulghum and R. Wall, "USAF Plans for Fighters Change," *Aviation Week & Space Technology*, 2004.

- [53] J. Pappalardo, "Weight Watchers - Air & Space Magazine," 11 2006. [Online]. Available: <https://www.airspacemag.com/military-aviation/weight-watchers-13117183/?all>. [Accessed 5 10 2019].
- [54] A. Fowler and C. Hichens, "Pentagon general issues warning on JSF blow-outs," *ABC News*, 19 2 2013. [Online]. Available: <https://www.abc.net.au/news/2013-02-18/pentagons-doubts-on-joint-strike-fighter/4524962>. [Accessed 5 10 2019].

EKLER

EK 1: KARAR VERİCİLERİN İKİLİ KARŞILAŞTIRMA MATRİSLERİ

1. Karar verici tarafından değerlendirilen ikili karşılaştırma matrisi

[illegible]

2. Karar verici tarafından değerlendirilen ikili karşılaştırma matrisi

[illegible]

- ### 3. Karar verici tarafından değerlendirilen ikili karşılaştırma matrisi

[illegible]

4. Karar verici tarafından değerlendirilen ikili karşılaştırma matrisi

[illegible]

5. Karar verici tarafından değerlendirilen ikili karşılaştırma matrisi

[illegible]

6. Karar verici tarafından değerlendirilen ikili karşılaştırma matrisi

[illegible]

7. Karar verici tarafından değerlendirilen ikili karşılaştırma matrisi

	Ülkenin Ha	Ambargo v	Devlet Tarı	Endüstri Tı	Yeterli Rez	Kullanıcı G	Es Zamanı	Demo Ucal	Ucus Kontr	Hızlı İlerler
Ülkenin H		5,0	7,0	7,0	5,0	1,0	1,0	3,0	3,0	5,0
Ambargo			3,0	3,0	1,0	5,0	5,0	3,0	3,0	1,0
Devlet Ta				1,0	3,0	7,0	7,0	5,0	5,0	3,0
Endüstri ~					3,0	7,0	7,0	5,0	5,0	3,0
Yeterli Re						5,0	5,0	3,0	3,0	1,0
Kullanıcı							1,0	3,0	3,0	5,0
Es Zamaı								3,0	3,0	5,0
Demo Uc:									1,0	3,0
Ucus Kon										3,0
Hızlı İlerl	Incon: 0,02									

8. Karar verici tarafından değerlendirilen ikili karşılaştırma matrisi

[illegible]

9. Karar verici tarafından değerlendirilen ikili karşılaştırma matrisi

[illegible]

10. Karar verici tarafından değerlendirilen ikili karşılaştırma matrisi

[illegible]

11. Karar verici tarafından değerlendirilen ikili karşılaştırma matrisi:

[illegible]